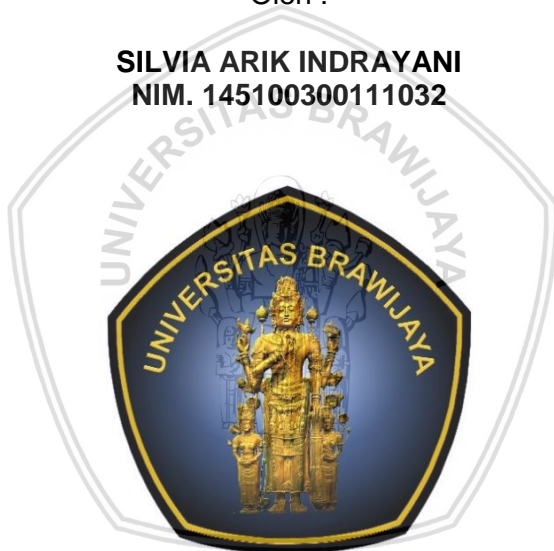


**OPTIMASI EKSTRAKSI MINYAK BIJI PALA MENGGUNAKAN
METODE *RESPON SURFACE METHODOLOGY* (RSM)**

SKRIPSI

Oleh :

**SILVIA ARIK INDRAYANI
NIM. 145100300111032**



**JURUSAN TEKNOLOGI INDUSTRI PERTANIAN
FAKULTAS TEKNOLOGI PERTANIAN
UNIVERSITAS BRAWIJAYA
MALANG
2018**

LEMBAR PERSETUJUAN

Judul Tugas Akhir : Optimasi Ekstraksi Minyak Biji
Pala Menggunakan Metode *Respon*
Surface Methodology (RSM)

Nama Mahasiswa : Silvia Arik Indrayani

NIM : 145100300111032

Jurusan : Teknologi Industri Pertanian

Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama,

Pembimbing Kedua,

Ir. Sukardi, MS.

NIP. 19600626 198601 1 001

Dr. Dodyk Pranowo, STP. M.Si

NIP. 19790405 200312 2 001

Tanggal Persetujuan:

Tanggal Persetujuan:

LEMBAR PENGESAHAN

Judul Tugas Akhir : Optimasi Ekstraksi Minyak Biji
Pala Menggunakan Metode *Respon*
Surface Methodology (RSM)
Nama Mahasiswa : Silvia Arik Indrayani
NIM : 145100300111032
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian

Pembimbing Pertama, Pembimbing Kedua,

Dr. Ir. Sukardi, MS.

NIP. 19600626 198601 1 001

Dr. Dodyk Pranowo, STP. M.Si

NIP. 19790405 200312 2 001

Penguji,

Mengetahui,
Ketua Jurusan,

Suprayogi, STP. MP. PhD

NIP. 19760825 200312 1 002

Dr. Sucipto, STP. MP.

NIP. 19730602 199903 1 001

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Mojokerto, Jawa timur pada tanggal 19 Oktober 1995 dari ayah yang bernama Abu dan ibu Sujilah. Penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Dasar di SDN Kedungmaling II pada tahun 2008, kemudian melanjutkan ke Sekolah Menengah Pertama di SMPN 2 Sooko dengan tahun kelulusan 2011, dan menyelesaikan Sekolah Menengah Atas di SMAN 1 Bangsal pada tahun 2014 serta melanjutkan sekolah Strata 1 di Jurusan Teknologi Industri Pertanian Universitas Brawijaya melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Pada tahun 2018 penulis telah berhasil menyelesaikan pendidikannya di Universitas Brawijaya Malang di Jurusan Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian.

Pada masa pendidikannya, penulis aktif dalam organisasi Himpunan Mahasiswa Teknologi Industri Pertanian (HIMATITAN) pada tahun 2014-2015 menjadi Staff Muda Hubungan Sosial dan Kemasyarakatan Himatitan dan Agritechno Bussiness Centre (ABC) pada tahun 2015-2016 menjadi Staff. Pada tahun 2016-2017 masih aktif di Organisasi Agritechno Bussiness Centre (ABC) dan menjadi Pengurus Harian Unit Usaha ABC. Penulis juga pernah menjadi Asisten Praktikum mata kuliah Dasar Pemograman pada tahun 2016, tidak hanya aktif sebagai Pengurus Harian dan Asisten Praktikum Penulis juga aktif berwirausaha dan menjadi pemilik usaha seperti Basreng, Pentol Korea dan Sambaleo.

Selain Aktif di bidang Organisasi Penulis juga aktif di berbagai kepanitian seperti menjadi Anggota Konsumsi di Bakti Sosial HIMATITAN pada tahun 2015, Anggota Humas Bina Desa HIMATITAN pada tahun 2015, Pendamping di Pekan Keakraban Mahasiswa pada tahun 2015, Bendahara di Naftex Great Event ABC pada tahun 2016, Anggota Acara Visit on UMKM pada tahun 2016, SC Visit on UMKM pada tahun 2017.

Adapun Prestasi Penulis dalam 5 tahun terakhir ini adalah Penerima Pendanaan Program Kompetisi Bisnis Mahasiswa Indonesia oleh Dikti pada tahun 2017, Penerima Pendanaan Program Mahasiswa Wirausaha oleh Universitas Brawijaya pada tahun 2017, mendapatkan Juara II Lomba Business Plan Agribusiness fair 2017 di Politeknik Negeri Jember pada tahun 2017, mendapatkan JUARA III Lomba Business Plan Inovasi produk GEMA PERIKANAN DAN KELAUTAN IPB oleh Institut Pertanian Bogor pada tahun 2016 dan menjadi Finalis 8 besar Lomba Business Plan Coopweek 2016 KOPMA FIB UI oleh Universitas Indonesia pada tahun 2016.





Perlu Mimpi Setinggi Langit, Hati Serendah Bumi

dan Pengetahuan Sedalam Lautan

untuk Menggapai Cita-cita (Fiersa Besari)

Karya Kecil ini aku Persembahkan kepada

*Kedua Orang Tuaku, Kakak serta Semua Orang yang Berharga
di Sekelilingku.*

PERNYATAAN KEASLIAN TA

Yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama Mahasiswa : Silvia Arik Indrayani
NIM : 145100300111032
Jurusan : Teknologi Industri Pertanian
Fakultas : Teknologi Pertanian
Judul Skripsi : Optimasi Ekstraksi Minyak Biji Pala
Menggunakan Metode *Respon Surface Methodology* (RSM)

Menyatakan bahwa,

TA dengan judul di atas merupakan karya asli penulis tersebut di atas. Apabila di kemudian hari terbukti pernyataan ini tidak benar, saya bersedia dituntut sesuai dengan hukum yang berlaku.

Malang, Juni 2018
Pembuat pernyataan,

Silvia Arik Indrayani
NIM.145100300111032

Silvia Arik Indrayani. 145100300111032. Optimasi Ekstraksi Minyak Biji Pala Menggunakan Metode *Respon Surface Methodology* (RSM). TA. Pembimbing: Dr. Ir. Sukardi , MS. dan Dr. Dodyk Pranowo, STP. M.Si

RINGKASAN

Minyak pala merupakan salah satu komoditas ekspor minyak atsiri yang berperan cukup penting bagi pendapatan devisa negara. Metode penyulingan uap-air adalah metode yang umum digunakan dalam memperoleh minyak atsiri dengan alasan lama penyulingan relatif lebih singkat, rendemen minyak lebih tinggi dan kualitasnya lebih baik. Teknik penyulingan menggunakan metode uap air menghasilkan rendemen sebesar 1,38% dengan lama destilasi 6 jam sedangkan kandungan minyak dalam biji pala antara 5-15%. Hal ini menunjukkan bahwa rendemen yang dihasilkan belum optimal sehingga diperlukan perlakuan pendahuluan untuk meningkatkan rendemen yang dihasilkan. Salah satu metode perlakuan pendahuluan yang sedang dikembangkan yaitu kejut listrik tegangan tinggi atau *Pulsed Electric Field* (PEF). Perlakuan pendahuluan PEF diharapkan dapat mengurangi waktu ekstraksi dan meningkatkan kualitas dan kuantitas sehingga secara ekonomis lebih menguntungkan. Pada penelitian pendahuluan biji pala yang telah di hancurkan dan menggunakan PEF sebagai perlakuan pendahuluan dengan menggunakan faktor tegangan (1.500-5.000 volt), frekuensi (1.500-8.000 Hz), waktu paparan PEF (60-300 detik) dan lama destilasi (10-14 jam) didapatkan hasil bahwa lama destilasi, tegangan dan frekuensi sangat mempengaruhi rendemen minyak biji pala yang dihasilkan dibanding tanpa perlakuan PEF. Akan tetapi, dari hasil penelitian pendahuluan tersebut belum didapatkan faktor tegangan, frekuensi, dan lama destilasi yang optimum dalam memperoleh minyak biji pala. Oleh karena itu faktor-faktor tersebut perlu dioptimasi. Optimasi dapat dilakukan dengan beberapa teknik dan salah satunya adalah RSM.

Penelitian ini menggunakan metode *Respon Surface Methodology* (RSM) dengan rancangan penelitian menggunakan

Central Composit Design (CCD). Penelitian dilakukan menggunakan 3 faktor. Faktor pertama yakni tegangan (4000-6000) volt. Faktor kedua yakni frekuensi sebesar (4000-6000) Hz. Faktor Ketiga yakni lama destilasi selama (8-12) jam yang diformulasikan menggunakan bantuan *software Desain Expert 7.5.1*.

Kondisi optimum PEF yang diperoleh yakni pada tegangan 4000 volt, frekuensi 6000 Hz dan lama destilasi 12 jam dengan desirability sebesar 92,2%. Kondisi optimum tersebut kemudian dilakukan verifikasi sehingga didapatkan nilai respon rendemen sebesar 4,6685%, indeks bias 1,47785, berat jenis 0,8895 gr/ml dan hasil verifikasi respon rendemen menunjukkan tingkat akurasi sebesar 98,59% (4.6685%b/b) minyak biji pala mendekati nilai prediksi (4.73524%b/b) sedangkan hasil verifikasi respon indeks bias dan berat jenis menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100,08% dan 100,04%. Minyak atsiri biji pala dengan menggunakan PEF juga mampu meningkatkan kualitas berat jenis minyak biji pala sebesar 4,65%, indeks bias 0,122%, Limonene 0,22% , γ -Terpinene 25,6%, *Tepineol* 4,85%, *safrole* 2,228%, *Myristisin* 0,15% dibandingkan SNI minyak biji pala No. 2388-2006 dan ISO 3215.

Kata Kunci: *Destilasi uap-air, minyak biji pala, PEF, RSM*

Silvia Arik Indrayani. 145100300111032. *The Optimization of Nutmeg Oil Extraction Using Respon Surface Methodology (RSM)*. TA. Advicer : Dr. Ir. Sukardi , MS. dan Dr. Dodyk Pranowo, STP. M.Si

SUMMARY

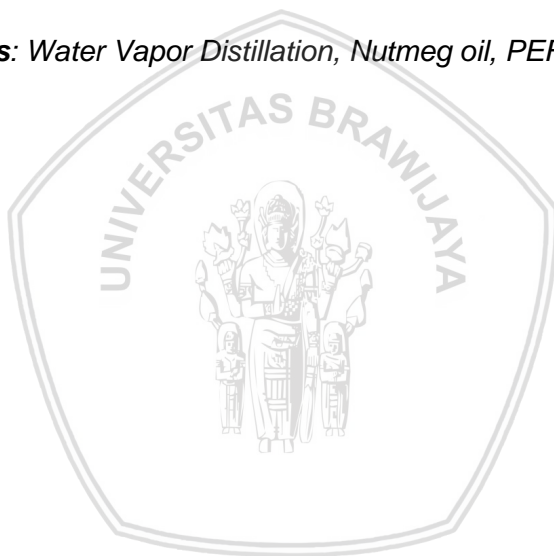
Nutmeg oil is one of the export commodity volatile oil that has important role for the country's voreign exchange income. Distillation water vapor method is mostly used in creating volatile oil because of it's shorter distillation process, the higher oil yield and the oil better quality. The distillation that uses the distilation water vapor method produces 1,38% yield with 6 hours time's distillation, while the contain of oil in nutmeg seed can produce for about 5-15%. It shows that the yield that was created has not been maximum so it still need the pretreatment to increase the producing of yield. One of the pretreatment method that is still improving is the high voltage electricity startled or Pulf Electic Field (PEF). The preteatment PEF is aimed to decrease the time of extraction and to increase quality and quantity so it can give more advantages economically. In this nutmeg seed pretreatment study that has been pounded and uses voltage factor (1.500-5000 volt), frequency (1.500-8000 Hz), PEF as pretreatment with the PEF's shelf time (60-300 second) and the time's of distilation (10-14 hours) gets the result that the time's of distillation, voltage, and frequency are influence the production of nutmeg oil a lot than with the non PEF treatment. But, from the pretreatment study result, it has not got the optimal voltage factor, frequency, and the time's of distillation. The optimalization can be done by some techniques and one of them is RSM.

This study uses the Respon Surface Methodology (RSM) with the research design using Central Composit Design (CCD) which is done by using three factors. The first factor is Voltage (4000-6000 volt). The second factor is frequency (4000-6000 Hz). The third factor is the time's of distilation for (8-12 hours) that formulated using the Expert Software Design 7.5.1

The optimum PEF which is got here in the voltage 4000 volt, frequency 6000 Hz and the time's of distilation for 12 hours with desirability for about 92,2%. That optimum condition is verified so

that it gets the yield respons value 4,6685%, the refractive index 1,47785, the density 0,8895 gr/ml, and the yield respond verification shows the accuration level 98,59% (4,6685%) nutmeg seed oil is getting close to the prediction value (4,73524%) while the result of refractive index and density verification respond shows the acuration level 100,08% and 100,04%. The volatile nutmeg oil uses the PEF also be able to increase the quality of the density of nutmeg oil 4,6%, the refractive index 0,122%, Limonene 0,22%, Terpinene 25,6%, Terpeneol 4,85%, Safrole 2,228%, Myristisin 0,15% compared with SNI of nutmeg oil No. 2388-2006 and ISO 3215.

Key words: Water Vapor Distillation, Nutmeg oil, PEF, RSM



KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur atas kehadiran Tuhan Yang Maha Esa yang telah melimpahkan berkat rahmat dan anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “Optimasi Ekstraksi Minyak Biji Pala Menggunakan Metode *Respon Surface Methodology* (RSM)” dengan baik. Penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada semua pihak yang telah banyak memberi bantuan dan bimbingan dalam penyusunan Tugas Akhir ini, terutama kepada :

1. Kedua orang tua dan keluarga yang selalu memberikan dukungan moral dan materil serta doa sehingga penulis termotivasi untuk lebih semangat menyelesaikan Tugas Akhir ini.
2. Dr. Ir. Sukardi, MS selaku dosen pembimbing 1 sekaligus pimpinan proyek yang tidak hanya mendanai proses penelitian, namun juga memberikan motivasi, ilmu pengetahuan, serta bimbingan dengan sabar sehingga penulis mampu menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Dr. Dodyk Pranowo, STP. M.Si selaku dosen pembimbing 2 yang telah memberikan motivasi, ilmu pengetahuan, serta bimbingan yang bermanfaat bagi penulis.
4. Suprayogi, STP. MP. PhD selaku dosen penguji yang telah memberikan bimbingan dan saran yang sangat bermanfaat untuk penyempurnaan penulisan Tugas Akhir.
5. Teman-Teman Perjuangan di Lab Teknologi Agro Kimia Antika, Herna STP, Defalki, Dhika, Cynthia, Riri, Rosyida dan Pak Sigit Setawan, STP, MT. dan lain lain yang tidak bisa disebutkan, terimakasih atas dukungan, motivasi dan bantuan yang diberikan selama penulis melakukan penelitian.
6. Sahabat-sahabat seperjuangan selama studi S1 di TIP “Bidadari Surga” Anien, Anna, Chintya, Delia, Devi, Halim, Hesti, Kartika, Oktavia dan Tim Wirausaha “Sempol” Nova dan Okfi yang tak henti-hentinya memberikan dukungan, motivasi dan semangat bagi penulis.
7. Keluarga Besar ABC Angkatan 2017, Zami, Qoirul, Bima, Devi, Della, Tutus, Nova, Ica, Ami, Abi, Adam, Zahwa, Yasin, dan Gita.

8. Keluarga besar dan sahabat-sahabat TIP angkatan 2014.
9. Sahabat-sahabat dari SMP, Ayu, Alfi, Ariza, Evi, Udin, Zaky, Alpian, Edi sampai SMA terutama Putri retno, Anggie, Putri Wiji, Garnisa, dan warga kelas XI-IPA5 yang masih berteman baik hingga sekarang dan memberikan semangat bagi penulis.
10. Seorang terbaik dan tersayang yang tak henti-hentinya memberikan dukungan, semangat serta meluangkan waktunya menemani penulis, Anugerah Joko Laksono dan sahabatnya Nofrizal Lilo, Terimakasih.

Penulis menyadari dalam Tugas Akhir ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh sebab itu penulis mengharapkan kritik dan saran dari berbagai pihak. Demikian Tugas Akhir ini penulis buat, semoga dapat bermanfaat bagi semua pihak.

Malang, Juni 2018

Penulis



DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
RIWAYAT HIDUP	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TA	vii
RINGKASAN	viii
SUMMARY	x
KATA PENGANTAR	xii
DAFTAR ISI	xiv
DAFTAR TABEL	xvii
DAFTAR GAMBAR	xviii
DAFTAR LAMPIRAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	
1.1 Latar belakang	1
1.2 Rumusan masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Tanaman Pala	5
2.2 Minyak Atsiri	6
2.2.1 Minyak Atsiri pala	6
2.2.2 Komponen Kimia Minyak Atsiri pala	7
2.3 Penyulingan (Destilasi)	8
2.4 Medan Listrik Berpulsa / <i>Pulsed Electric Field</i>	8
2.5 <i>Respon Surface Methodology</i> (RSM) dan Desain	
Komposit Terpusat	10
2.6 Penelitian Sebelumnya	12
2.7 Hipotesis	13
BAB III METODE PENELITIAN	
3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan	15
3.2 Alat dan Bahan	15
3.2.1 Alat	15
3.2.2 Bahan	15
3.3 Batasan Masalah	15
3.4 Prosedur Penelitian	16
3.4.1 Identifikasi Masalah	16
3.4.2 Studi Pustaka	16

3.4.3 Penelitian Pendahuluan	17
3.4.4 Penentuan Rancangan Percobaan.....	17
3.4.5 Pelaksanaan Penelitian	20
3.4.6 Analisis Fisik	22
3.4.7 Pengolahan Data	22
3.4.8 Analisa Komponen Kimia	23

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Perlakuan PEF pada Biji Pala	25
4.2 Hasil Analisa Desain Komposit Terpusat.....	27
4.2.1 Respon Rendemen Minyak Atsiri	27
4.2.2 Respon Indeks Bias Minyak Atsiri	30
4.2.3 Respon Berat Jenis Minyak Atsiri	32
4.3 Analisa Model Statistik Respon	34
4.3.1 Analisa Pemilihan Model	34
4.3.1.1 Pemilihan Model Respon Rendemen	34
4.3.1.1.1 Berdasarkan <i>Sequential Model Sum of</i> <i>Square</i> Rendemen.....	34
4.3.1.1.2 Berdasarkan <i>Lack of Fit</i> Rendemen	36
4.3.1.1.3 Berdasarkan Model <i>Summary Statistic</i>	37
4.3.1.2 Pemilihan Model Respon Indeks Bias	38
4.3.1.2.1 Berdasarkan <i>Sequential Model Sum of</i> <i>Square</i> Indeks Bias	38
4.3.1.2.2 Berdasarkan <i>Lack of Fit</i> Indeks Bias	39
4.3.1.2.3 Berdasarkan Model <i>Summary Statistic</i>	40
4.3.1.3 Pemilihan Model Respon Berat Jenis	42
4.3.1.3.1 Berdasarkan <i>Sequential Model Sum of</i> <i>Square</i> Berat Jenis	42
4.3.1.3.2 Berdasarkan <i>Lack of Fit</i> Berat Jenis	43
4.3.1.3.3 Berdasarkan Model <i>Summary Statistic</i>	44
4.3.2 Analisa Ragam (Anova) dan Pengaruh Faktor	46
4.3.2.1.1 Analisa Ragam (Anova) Rendemen	46
4.3.2.1.2 Pengaruh Tegangan, Frekuensi, dan Lama destilasi Terhadap Rendemen	49
4.3.2.2.1 Analisa Ragam (Anova) Indeks Bias	52

4.3.2.2.2 Pengaruh Tegangan, Frekuensi, dan	
Lama destilasi Terhadap Indeks Bias	
Minyak Atsiri Biji Pala	54
4.3.2.3.1 Analisa Ragam (Anova) Berat Jenis	56
4.3.2.3.2 Pengaruh Tegangan, Frekuensi, dan	
Lama destilasi Terhadap Berat Jenis	
Minyak Atsiri Biji Pala	59
4.4 Optimasi Respon Nilai Rendemen, Indeks Bias dan	
Berat Jenis pada Desain Komposit Terpusat	62
4.5 Verifikasi Kondisi Optimum Hasil Prediksi Model	63
4.6 Perbandingan Perlakuan Optimum dan Kontrol	66
BAB VI PENUTUP	
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Standarisasi Minyak Atsiri Pala	7
Tabel 2.2 Kandungan Komponen Minyak Atsiri Pala.....	7
Tabel 2.3 Parameter Rancangan Komposit Terpusat.....	12
Tabel 3.1 Rancangan Percobaan.....	19
Tabel 3.2 Titik Komposit Terpusat yang Dicobakan	20
Tabel 4.1 Data Respon Rendemen.....	28
Tabel 4.2 Data Respon Indeks Bias.....	30
Tabel 4.3 Data Respon Berat Jenis	32
Tabel 4.4 <i>Sequential Model Sum of Squares</i> Rendemen	35
Tabel 4.5 <i>Lack of Fit Test</i> Rendemen	36
Tabel 4.6 Hasil Pemilihan Model Berdasarkan	
<i>Model Summary Statistic</i> Rendemen	37
Tabel 4.7 <i>Sequential Model Sum of Squares</i> Indeks Bias	39
Tabel 4.8 <i>Lack of Fit Test</i> Indeks Bias	40
Tabel 4.9 Hasil Pemilihan Model Berdasarkan	
<i>Model Summary Statistic</i> Indeks Bias	41
Tabel 4.10 <i>Sequential Model Sum of Squares</i> Berat Jenis.....	43
Tabel 4.11 <i>Lack of Fit Test</i> Berat Jenis	44
Tabel 4.12 Hasil Pemilihan Model Berdasarkan	
<i>Model Summary Statistic</i> Berat Jenis	45
Tabel 4.13 Hasil Analisis Ragam (ANOVA)	
Respon Rendemen.....	46
Tabel 4.14 Hasil Analisis Ragam (ANOVA)	
Respon Indeks Bias.....	52
Tabel 4.15 Hasil Analisis Ragam (ANOVA)	
Respon Berat Jenis	57
Tabel 4.16 Batas Optimasi untuk Respon Penelitian.....	62
Tabel 4.17 Solusi Titik Optimum Terpilih Hasil Perhitungan ...	
<i>Design Expert 7.1.5</i>	63
Tabel 4.18 Prediksi Solusi Optimum dan Minimum	64
Tabel 4.19 Nilai Prediksi dan Hasil Penelitian	65
Tabel 4.20 Perbandingan Perlakuan Terbaik dan	
Perlakuan Kontrol	66

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Gambar Buah Biji Pala	6
Gambar 2.2 Alat PEF (<i>Pulsed Electric Field</i>).....	10
Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian.....	16
Gambar 3.2 Diagram Alir Destilasi Minyak Biji Pala Pada Penelitian Utama	21
Gambar 4.1 Struktur Sel Biji Pala Sebelum Perlakuan PEF	25
Gambar 4.2 Perubahan Struktur Biji Pala dengan..... Perlakuan PEF	26
Gambar 4.3 Kontur Plot Respon Lama Destilasi, Frekuensi ... dan Tegangan terhadap Respon Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala	49
Gambar 4.4 Kurva Permukaan Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala	50
Gambar 4.5 Kontur Plot Respon Lama Destilasi, Frekuensi ... dan Tegangan terhadap Respon Indeks Bias ... Minyak Atsiri Biji Pala	54
Gambar 4.6 Kurva Permukaan Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala	55
Gambar 4.7 Kontur Plot Respon Lama Destilasi, Frekuensi ... dan Tegangan terhadap Respon Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala.....	60
Gambar 4.8 Kurva Permukaan Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala.....	60

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Prosedur Analisa Fisik Minyak Atsiri.....	81
Lampiran 2. Prosedur dan Dokumentasi Penelitian	83
Lampiran 3. Perhitungan Rendemen Minyak Atsiri pala	85
Lampiran 4. Perhitungan Indeks Bias Minyak Atsiri Pala	89
Lampiran 5. Konversi Indeks Bias ke dalam nilai Brix	92
Lampiran 6. Perhitungan Berat Jenis Minyak Atsiri Pala	93
Lampiran 7. Hasil Pengolahan Data dan Analisa Ragam pada Respon Rendemen.....	97
Lampiran 8. Hasil Pengolahan Data dan Analisa Ragam pada Respon Indeks Bias.....	100
Lampiran 9. Hasil Pengolahan Data dan Analisa Ragam pada Respon Berat Jenis	103
Lampiran 10. Hasil Optimasi untuk Respon Rendemen, Indeks Bias dan Berat Jenis	106
Lampiran 11. Hasil Titik Prediksi dan Konfirmasi	
untuk Respon.....	107
Lampiran 12. Hasil Uji T.....	109
Lampiran 13. Hasil Pengujian GCMS.....	110
Lampiran 14. Hasil Pengujian SEM108.....	112



I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Minyak pala merupakan salah satu komoditas ekspor minyak atsiri yang berperan cukup penting bagi pendapatan devisa negara. Ekspor minyak pala Indonesia pada tahun 2014 tercatat sebesar 14.712 ton dengan nilai USD 112.248 dan mengalami kenaikan pada tahun 2015 sebesar 17.027 ton dengan nilai USD 100.141 (Nurbahar, 2017). Metode konvensional yang sering digunakan untuk mendapatkan minyak atsiri yaitu penyulingan atau destilasi. Metode penyulingan uap-air adalah metode yang umum digunakan dalam memperoleh minyak atsiri dengan alasan lama penyulingan relatif lebih singkat, rendemen minyak lebih tinggi dan kualitas mutunya lebih baik. Menurut hasil penelitian Suryatmi dkk (2008), metode penyulingan uap-air pada biji pala menghasilkan rendemen sebesar 1,38 % dengan lama destilasi 6 jam sedangkan kandungan minyak dalam biji pala dapat menghasilkan antara 5-15%. Hal ini menunjukkan bahwa rendemen yang dihasilkan belum optimal.

Menurut Nurjannah (2007) rendahnya rendemen minyak pala yang dihasilkan dapat disebabkan oleh beberapa faktor seperti lamanya destilasi yang belum cukup, kualitas dan jenis biji pala. Hal ini terjadi karena kurang dikuasainya pengetahuan tentang karakteristik sel-sel minyak atsiri biji pala dan teknologi pengolahan minyak biji pala. Oleh karena itu diperlukan solusi untuk meningkatkan rendemen minyak atsiri tersebut, salah satu alternatif yang dapat dilakukan untuk meningkatkan rendemen minyak atsiri yaitu dengan memberikan perlakuan pendahuluan. Perlakuan pendahuluan yang sering digunakan adalah pengecilan ukuran. Bahan baku biji pala sebelum diekstrak minyaknya diberikan perlakuan pengecilan ukuran dengan dihancurkan menjadi remah. Tujuannya untuk meningkatkan kemungkinan terbukanya kelenjar minyak pada bahan sehingga dapat meningkatkan rendemen minyak atsiri. Selain itu, salah satu metode perlakuan pendahuluan yang sedang dikembangkan adalah dengan kejutan listrik tegangan tinggi atau *Pulsed Electric Field* (PEF).

PEF merupakan metode *non thermal* dengan menggunakan kejutan listrik tegangan tinggi pada proses pengolahan bahan pangan yang didasarkan pada aplikasi denyut pendek pada tegangan tinggi ke bahan yang ditempatkan di antara elektroda pada suhu kamar atau dibawahnya selama beberapa detik (Hawa *et. al.*, 2011). Sistem kejut listrik ini akan mempermudah keluarnya minyak dari bahan pada saat destilasi dikarenakan energi yang dikeluarkan sistem dapat memecah kelenjar minyak pada bahan selain itu dengan memberikan kejutan listrik tegangan tinggi akan mengakibatkan modifikasi pada permukaan sel, dimana dari pengamatan menggunakan mikroskop cahaya ditemukan adanya lubang pada dinding sel sedangkan pada sel yang tidak diberikan sistem kejut listrik tidak ditemukan hal tersebut.

Pada penelitian pendahuluan telah dilakukan proses destilasi pada biji pala yang telah di hancurkan dan menggunakan PEF sebagai perlakuan pendahuluan dengan menggunakan faktor tegangan (1.500-5.000 volt), frekuensi (1.500-8.000 Hz), waktu paparan PEF (60-300 detik) dan lama destilasi (10-14 jam). Hasil penelitian pendahuluan tersebut menunjukkan bahwa lama destilasi, tegangan dan frekuensi PEF sangat mempengaruhi rendemen minyak biji pala yang dihasilkan dibanding tanpa perlakuan PEF. Akan tetapi, dari hasil penelitian pendahuluan tersebut belum didapatkan faktor tegangan, frekuensi PEF dan lama destilasi yang optimum dalam memperoleh minyak biji pala. Oleh karena itu perlu dilakukan optimasi. Optimasi dapat dilakukan dengan beberapa teknik dan salah satunya adalah metode permukaan respon atau *Respon Surface Methodology* (RSM).

Metode permukaan respon atau *Respon Surface Methodology* (RSM) digunakan dalam penelitian untuk mengoptimalkan respon sehingga dapat mempermudah mendapatkan nilai optimal dari masing-masing parameter yang berpengaruh dalam proses destilasi minyak biji pala. Hal ini didukung oleh hasil penelitian Sukardi dkk (2017) pada destilasi minyak nilam dengan menggunakan faktor tegangan (1.000-2.000 volt), frekuensi (1.000-2.000 Hz), dan waktu destilasi (4-8 jam). Hasil penelitian menunjukkan bahwa tegangan sangat

mempengaruhi volume minyak nilam yang diperoleh dan didapatkan kondisi optimum PEF pada voltase 2.000 volt, frekuensi 1,874 Hz, 8 jam destilasi dan rendemen yang diperoleh adalah 8.037 ml dari 300 g bahan kering ($\pm 2,7\%$). Informasi mengenai nilai optimal dari kondisi proses yang dibutuhkan pada destilasi minyak biji pala menggunakan PEF masih terbatas sehingga perlu dilakukan penelitian untuk mengoptimasi hasil ekstraksi minyak biji pala menggunakan metode *Respon Surface Methodology* (RSM).

1.2 Rumusan Masalah

Belum adanya informasi tentang besar parameter tegangan, frekuensi, dan lama destilasi yang optimal untuk mendapat minyak biji pala, maka perlu dilakukan pemecahan masalah berapakah nilai tegangan, frekuensi PEF dan lama destilasi yang optimal terhadap hasil ekstraksi minyak biji pala yang diperoleh serta bagaimana kualitas minyak biji pala yang dihasilkan?

1.3 Tujuan Penelitian

1. Mendapatkan besar tegangan, frekuensi PEF dan lama destilasi yang optimal terhadap hasil ekstraksi minyak biji pala yang diperoleh.
2. Mengetahui kualitas minyak biji pala yang optimal.

1.4 Manfaat Penelitian

1. Manfaat untuk masyarakat yaitu pengetahuan tentang peningkatan pemanfaatan pala sebagai penghasil minyak atsiri yang berpotensi untuk dimanfaatkan.
2. Manfaat untuk institusi yaitu menambah pengetahuan mengenai pengaplikasian PEF sebagai perlakuan pendahuluan yang dapat memaksimalkan hasil minyak atsiri.
3. Manfaat untuk peneliti yaitu pengetahuan mengenai peningkatan hasil rendemen destilasi minyak atsiri dengan menerapkan aplikasi PEF



II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanaman Pala

Tanaman pala (*Myristica fragrans*, houtt) termasuk dalam famili *Myristicaceae* merupakan tanaman asli Indonesia yang berasal dari pulau Banda. Tanaman ini memiliki batang sedang dengan tinggi mencapai 18 m dan memiliki daun berbentuk bulat telur atau lonjong yang selalu hijau sepanjang tahun. Tanaman pala dapat tumbuh di daerah tropis pada ketinggian dibawah 700 m dari permukaan laut, beriklim lembab dan panas, curah hujan 2.000-3.500 mm tanpa mengalami periode musim kering secara nyata (Nurdjannah 2007). Klasifikasi tanaman pala dalam taksonomi tumbuhan adalah sebagai berikut (Departemen Pertanian, 1986):

Kingdom	: <i>Plantae</i>
Subkingdom	: <i>Tracheobionta</i>
Super Divisi	: <i>Spermatophyta</i>
Divisi	: <i>Magnoliophyta</i>
Kelas	: <i>Magnoliopsida</i>
Sub Kelas	: <i>Magnolidae</i>
Ordo	: <i>Magnoliales</i>
Famili	: <i>Myristicaceae</i>
Genus	: <i>Myristica</i>
Spesies	: <i>Myristica fragrans</i> , Houtt

Pala dikalangan masyarakat lebih dikenal sebagai tanaman rempah yang memiliki nilai ekonomis dan multiguna karena setiap bagian tanaman dapat dimanfaatkan dalam berbagai industri. Bagian tanaman pala yang mempunyai nilai ekonomis adalah biji dan fuli karena dapat diolah menjadi minyak pala. Minyak pala merupakan komoditas ekspor dan banyak digunakan dalam industri makanan dan minuman. Selain itu minyak yang berasal dari biji, fuli dan daun banyak digunakan untuk industri obat-obatan, parfum dan kosmetik. Buah pala terdiri dari 77,8 % daging buah, 5,1 % tempurung, fuli (bunga pala) 4 % dan 13,1 % biji. Tanaman pala memiliki buah berbentuk bulat, berwarna hijau kekuning-kuningan, buah ini apabila sudah matang akan terbelah dua. Garis tengah buah berkisar antara 3-9 cm, daging buahnya tebal dan rasanya

asam. Bijinya berbentuk lonjong sampai bulat, panjangnya berkisar antara 1,5-4,5 cm dengan lebar 1-2,5 cm. Kulit biji berwarna coklat dan mengkilat pada bagian luarnya **Gambar 2.1** (Dewi, 2016).



Gambar 2.1 Buah biji pala
Sumber: Dewi, 2016

2.2 Minyak Atsiri

Minyak atsiri dikenal sebagai minyak eteris atau minyak terbang (*ethereal oil / volatile oil*) yang dihasilkan oleh tumbuhan. Minyak tersebut mudah menguap pada suhu kamar tanpa mengalami dekomposisi, mempunyai rasa getir, berbau wangi sesuai dengan bau tumbuhan penghasilnya, umumnya larut dalam pelarut organik dan tidak larut dalam air (Pratama dkk, 2016). Minyak atsiri berupa cairan jernih, tidak berwarna tetapi selama penyimpanan akan mengental dan berwarna kekuningan atau kecoklatan (Koensoemardiyah, 2012).

2.2.1 Miyak Atsiri Pala

Minyak pala adalah minyak atsiri yang dihasilkan melalui proses penyulingan. Minyak Atsiri pala dapat dihasilkan dari daun, biji dan fuli buah pala. Kandungan minyak yang dihasilkan dari daun pala sebanyak 1,7% minyak, fuli pala 4-17% minyak, sedangkan kandungan minyak dalam biji pala dapat menghasilkan antara 5-15% minyak. Minyak pala dicirikan sebagai minyak yang berwarna jernih kekuningan atau kehijauan dengan aroma khas pala (Hidayati dkk, 2015). Kualitas minyak pala Indonesia telah distandarkan sesuai No 2388-2006 oleh Badan Standarsasi Nasional (BSN). Adapun Standar Nasional Indonesia tentang kualitas minyak pala dapat dilihat pada **Tabel 2.1**.

Tabel 2.1 Standarisasi minyak atsiri pala

Komponen Kimia	Standar Mutu
Warna, Berat Jenis, 20°C/20°C	Jernih – kuning muda 0,885-0,907
Indeks Bias, 20°C	1,475 – 1,485
Putaran Optik, 20°C	(+6°) – (+18 °)
Kelarutan dalam etanol 90%	1:1-1:3
Sisa Penguapan (%)	Maks. 2

Sumber: Badan Standarsasi Nasional (BSN) No 2388-2006

2.2.2 Komponen Kimia Minyak Atsiri Pala

Menurut ISO No. 3215 tahun 2002 komponen kimia utama atau identitas dari minyak pala terdiri dari *α-pinen*, *β-pinen*, *carene*, *sabinen*, *limonen*, *terpinen*, *terpineol*, *safrol*, dan *miristisin*. Dalam Standar Nasional Indonesia No.06-2388 tahun 2006, mutu minyak pala Indonesia antara lain ditentukan oleh kandungan miristisin minimum sebesar 5% (SNI, 2006). Selain itu terdapat komponen lain eugenol, metil eugenol, dan isoeugenol. Metil eugenol dan safrol merupakan jenis senyawa karsinogenik yang menjadi salah satu parameter penting pada minyak atsiri pala. Kedua senyawa tersebut memiliki batasan tertentu yang akan menjadi patokan dalam penentuan nilai jual minyak atsiri pala di industri (Saputro dkk, 2016). Besar kandungan komponen minyak atsiri pala dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2 Kandungan Komponen Minyak Atsiri Pala

Komponen (%)	Pala	ISO 3215-1998 (oil of nutmeg, Indonesian Type)
α-pinen	11,71-21,83	15-28
β-pinen	12,43-15,60	13-18
Sabinen	15,97-26,30	14-29
δ-3-Carene	1,02-2,46	0,5-2,0
Limonen	2,42-2,65	2,0-7,0
γ –Terpinene	3,19-7,21	2,0-6,0
Terpineol	2,86-6,98	2,0-6,0
Safrol	1,61-2,19	1,0-2,5
Miristisin	8,17-11,15	5,0-12

Sumber: M a'mun (2013)

2.3 Penyulingan (Destilasi)

Destilasi atau penyulingan merupakan proses pemisahan komponen yang bertujuan untuk memisahkan pelarut dan komponen pelarutnya. Hasil destilasi disebut destilat dan sisanya disebut residu. Proses pemisahan komponen bahan kimia tersebut didasarkan pada perbedaan kecepatan atau kemudahan menguap (volatilitas) bahan. Penyulingan campuran zat dididihkan sehingga menguap dan uap ini kemudian didinginkan kembali ke dalam bentuk cairan. Zat yang memiliki titik didih lebih rendah akan menguap lebih dulu (Sasongko, 2012). Metode penyulingan dapat dibedakan menjadi 3 macam yaitu destilasi air, destilasi uap dan destilasi uap-air. Metode yang sering digunakan dalam memperoleh minyak atsiri adalah metode destilasi uap-air.

Metode destilasi uap-air disebut juga dengan sistem kukus. Pada metode ini, bahan diletakkan diatas piringan atau plat besi berlubang seperti ayakan (sarangan) yang terletak beberapa sentimeter diatas permukaan air. Pada prinsipnya metode penyulingan uap-air menggunakan uap bertekanan rendah. Destilasi uap-air ini memiliki keuntungan lama penyulingan yang relatif lebih singkat. Penetrasi uap terjadi secara merata ke dalam jaringan bahan dan suhu dapat dipertahankan sampai $\pm 100^{\circ}\text{C}$ dan menghasilkan rendemen minyak yang lebih besar dengan kualitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode destilasi air (Saputro, 2016).

2.4 Medan listrik berpulsa/ *Pulsed Electric Field* (PEF)

Minyak astiri pada jaringan tanaman berada di dalam sel glandular trikoma dan sebagian kecil berada pada glandular mesophila. Untuk memperoleh minyak atsiri dinding sel harus dipecahkan misalkan dengan cara penumbukan. Selain itu metode yang saat ini sedang dikembangkan untuk merusak/memecah dinding sel adalah PEF (*Pulsed Electric Field*). PEF merupakan perlakuan pendahuluan bahan secara non thermal dengan menggunakan kejutan listrik dengan intensitas tinggi yang didasarkan pada aplikasi denyut pendek pada tegangan tinggi ke bahan yang ditempatkan di antara dua elektroda. Metode ini sangat efektif digunakan untuk ekstraksi

dari senyawa intraseluler dengan waktu yang tepat pada penerapan PEF dapat mempengaruhi perubahan struktur sel seperti rusaknya membran sitoplasma sel (Hawa *et. al.*, 2011). Sistem kejut listrik ini akan memudahkan keluarnya minyak dari bahan pada saat destilasi dikarenakan energi yang dikeluarkan sistem dapat memecah kelenjar minyak pada bahan.

Penerapan PEF dapat meningkatkan laju difusi produk keluar jaringan tanaman saat proses ekstraksi. Paparan suatu medan listrik yang berkekuatan tinggi akan menyebabkan pecahnya membran sel dari jaringan tersebut (Siemar *et. al.*, 2012). Penerapan PEF memberi kemungkinan lebih baik dalam pengaturan input energi listrik, sehingga dapat menyebabkan terjadinya elektroporasi pada sel tanpa harus menaikkan suhu secara signifikan pada prosesnya (Sukardi, 2016). Parameter penting yang harus diperhatikan dalam PEF adalah parameter proses yaitu kekuatan kejutan listrik, jumlah pulsa, lebar pulsa dan juga desain wadah pengolahan atau *chamber*. Selain itu, parameter frekuensi juga berpengaruh pada penentuan waktu proses atau waktu paparan PEF yang mempengaruhi jumlah pulsa (Sukardi, 2016). Semakin tinggi frekuensi maka akan semakin cepat proses pemecahan membran sel. Pada proses PEF, parameter lain yang berpengaruh terhadap ekstraksi adalah parameter bentuk sel dan jarak elektroda. Kekuatan PEF (e) dan waktu paparan (t) diketahui sebagai parameter utama dalam proses yang menunjukkan pengaruh kuat medan listrik terhadap bahan, sedangkan input energi spesifik (w) atau jumlah pulsa dapat diterapkan sebagai parameter batasan dalam PEF (Sukardi *et. al*, 2015). Gambar Alat PEF dapat dilihat pada **Gambar 2.2**.

Pada sel-sel tanaman ditemukan kation-kation (K^+ , Na^+ , Ca^+ dan H^+) yang berperan penting dalam metabolisme tanaman (Gunning dan Steer, 1997). Pergerakan elektron yang ada pada jaringan tanaman lebih tinggi apabila di sekeliling sel terjadi peningkatan medan listrik (E) dampak gerakan elektron tersebut adalah terjadinya elektroporasi sel (Donsi, Ferrari dan Pataro, 2010). Apabila nilai medan listrik (E) diluar lebih kecil dibandingkan medan listrik yang ada didalam sel, maka tidak akan terjadi gerakan elektron yang berarti. Namun apabila

medan listrik diluar sel lebih besar dan dilakukan dalam kurun waktu yang relatif lama maka gerakan elektron semakin cepat dan kuat sehingga dinding sel mengalami porositas dan bahkan rusak atau pecah. Pecahnya dinding sel akan berakibat cairan yang ada di dalam sel keluar (Jiahui, *et. al.*, 2009)



Gambar 2.2 Alat PEF (*Pulsed Electric Field*)
 Sumber: Dokumentasi Penelitian

2.5 Respon Surface Methology (RSM) dan Desain Komposit Terpusat

Optimasi dapat dilakukan dengan beberapa teknik dan salah satunya adalah RSM. *Respon Surface Metodology* (RSM) atau metode respon permukaan merupakan metode yang menggabungkan teknik matematika dengan teknik statistika yang digunakan untuk menganalisis permasalahan tentang variabel-variabel bebas (x) yang dalam penelitian ini adalah tegangan, frekuensi dan lama destilasi yang mempengaruhi variabel terikat atau respon (Y) yaitu jumlah minyak, indeks bias dan berat jenis dengan tujuan mengoptimalkan respon. Hubungan antara respon (Y) dengan variabel bebas x adalah (Box dan Draper, 2007):

$$Y = f(x_1 + x_2 + x_3 \dots x_k) + \xi \dots \dots \dots (2.1)$$

Sebelum setiap variabel dapat dibawa ke tahap percobaan, variabel harus dikodekan sesuai dengan persamaan (2.1). Variabel kode diwakili oleh -1, 0 dan 1, sedangkan variabel asli adalah nilai sebenarnya untuk variabel kode. Untuk uji reliabilitas, *analisis of varians* (ANOVA) harus dilakukan dengan mengevaluasi nilai respon dengan koefisien R2 dan juga F-test untuk *lack of fit*. Untuk menverifikasi keandalan model, respon

yang diprediksi harus dibandingkan dengan hasil eksperimen pada kondisi variabel tetap (Said dan Mohamed, 2015).

Menurut Heinkelmann dan Kempthorne (2008) optimasi menggunakan RSM langkah pertama yang harus dilakukan adalah menemukan hubungan antara respon (Y) dan faktor (x) melalui persamaan polinomial orde-1 (satu) dan digunakan model regresi linear, atau yang lebih dikenal dengan *first-order model* dengan fungsi persamaan sebagai berikut:

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i$$

Rancangan eksperimen orde I yang sesuai untuk tahap penyaring faktor adalah rancangan faktorial 2^k (*Two Level Factorial Design*). Selanjutnya untuk model orde II, biasanya terdapat kelengkungan dan digunakan model polinomial orde kedua yang fungsinya kuadratik (Lin, *et. al.*, 2011) :

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^k \beta_i X_i + \sum_{i=1}^k \beta_{ii} X_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} X_i X_j + \varepsilon$$

Salah satu bentuk rancangan permukaan respon ordo-2 yang diterapkan secara luas adalah *Central Composite Design* (CCD). CCD memiliki tiga macam titik desain yang berbeda yang terdiri dari dua level faktorial *design* (± 1), dua level *star design* (titik aksial) yang berjarak α dari *central point* serta bertanggung jawab pada efek kuadratik ($\pm \alpha$; $|\alpha| \geq 1$) dan 1 level *center point*. Dengan demikian setiap variabel pada CCD terdiri dari lima level yaitu $-\alpha$, -1 , 0 , $+1$ dan $+\alpha$. Secara praktis, CCD diterapkan melalui percobaan sekuensial. Percobaan tersebut tidak lain merupakan faktorial 2^k yang telah melalui model orde pertama namun memperlihatkan ketidaksesuaian model (*lack of fit*), kemudian titik-titik aksial ditambahkan ke dalam percobaan untuk memenuhi titik-titik kuadratik dalam model. Rancangan komposit terpusat dengan rancangan eksperimen ordo-2 yang digunakan adalah rancangan faktorial 3^k (*Three Level Factorial Design*), yang sesuai untuk masalah optimasi. Kemudian dari model orde II ditentukan titik stasioner, karakteristik permukaan respon dan model optimasinya. Metode kuadrat terkecil digunakan untuk mengestimasi parameter-parameter pada

fungsi-fungsi tersebut. Analisis permukaan respon selanjutnya digunakan untuk penentuan permukaan (Hwang, *et. al.*, 2011).

Suatu rancangan percobaan untuk membangun model polinomial ordo-2, suatu rancangan percobaan harus memiliki paling sedikit tiga taraf dari setiap faktor yang akan dicobakan, hal ini bertujuan agar parameter model dapat diduga dengan baik (Montgomery, 2009). Data percobaan menggunakan rancangan komposit terpusat dapat dilihat pada **Tabel 2.2**.

Tabel 2.2. Parameter Rancangan Komposit Terpusat

Parameter	K = banyaknya faktor dalam percobaan				
	2	3	4	5	6
Titik sumbu	4	6	8	10	12
N_0 (ks)	5	6	7	10	15
N (ks)	13	20	31	52	91
A	1,414	1,682	2,000	2,378	2,828

Sumber : Montgomery (2009)

Keterangan :

N_0 (ks): Banyaknya titik pusat yang diperlukan agar memenuhi sifat ketelitian seragam dari rancangan komposit terpusat.

N (ks): Banyaknya data pengamatan yang diperlukan oleh rancangan komposit terpusat yang bersifat ketelitian seragam.

A: Nilai yang ditetapkan bagi parameter α dalam matriks rancangan komposit terpusat berdasarkan formula.

2.6 Penelitian Sebelumnya

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan oleh peneliti mengenai penggunaan pulsa kejut listrik / PEF untuk ekstraksi minyak atsiri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan PEF sebelum ekstraksi dapat meningkatkan hasil rendemen dan tidak mengurangi kualitas produk. Penggunaan PEF pada ekstraksi bunga mawar oleh Sukardi dkk (2014) dapat meningkatkan hasil sampai dengan 0,465 % dengan menggunakan 2 faktor frekuensi (1000 dan 1500 Hz) dan waktu destilasi (2,4,6 jam). Hasil yang didapat dari penelitian tersebut menunjukkan perlakuan terbaik diperoleh dari kombinasi frekuensi PEF sebesar 1500 Hz dengan waktu ekstraksi selama 6 jam. Penggunaan PEF pada ekstraksi minyak mawar juga

telah dilakukan oleh Yajun dkk (2017), dilaporkan kondisi optimal dalam memperoleh minyak atsiri pada penelitian tersebut yakni dengan intensitas medan listrik 20 kV/cm, jumlah pulsa 8 dan waktu distilasi 2 jam dapat meningkatkan hasil minyak maksimal 50% dan memperpendek waktu distilasi selama 2 jam. Kondisi optimum Ekstraksi polyphenol dari daun teh basah dengan PEF sebesar 0.9 Kv/cm, waktu 1,5 detik, dapat menghasilkan rendemen sebesar 27 % (Zderic,dkk, 2013). Pengaruh *pre-treatment* PEF pada minyak melati *concrete* dapat meningkatkan kualitas minyak yang dihasilkan, total hasil memiliki perbedaan sampai dengan 0,97%. Indeks bias memiliki perbedaan hingga 2,2, senyawa linalool memiliki perbedaan sampai dengan 2,35% dan senyawa asetat benzil memiliki perbedaan sampai dengan 0,35% dibandingkan dengan metode ekstraksi konvensional. Perlakuan terbaik diperoleh pada PEF tegangan 20kV/cm, frekuensi 20 kHz, lama PEF 7 detik (Nisak dkk, 2014).

Pada ekstraksi minyak nilam untuk membantu memecah dinding sel minyak sehingga memaksimalkan rendemen minyak yang dihasilkan dan menggunakan metode RSM untuk menentukan faktor yang optimal dari perlakuan PEF telah dilakukan oleh Sukardi dkk (2017). Penelitian ini menggunakan 3 faktor yakni tegangan (1,000-2,000 volt), frekuensi (1,000-2,000 Hz), dan lama destilasi (4-8 hours). Kondisi optimal PEF dalam memperoleh minyak atsiri yakni pada voltase 2.000 volt, frekuensi 1,874 Hz, dan 8 jam distilasi dan rendemen yang diperoleh adalah 8.037 ml 300 g bahan kering ($\pm 2,7\%$).

2.7 Hipotesis

Diduga bahwa kombinasi tegangan, frekuensi pada perlakuan PEF dan lama destilasi pada destilasi minyak pala yang tepat berpengaruh terhadap rendemen dan kualitas minyak atsiri yang dihasilkan.



III. METODE PENELITIAN

3.1 Tempat dan Waktu Pelaksanaan

Penelitian dilakukan di Laboratorium Teknologi Agrokimia Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya. Analisis data dilakukan di Laboratorium Komputasi dan Analisis Sistem Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya dan Pengujian GCMS dan SEM dilakukan di Laboratorium FMIPA Universitas Malang. Penelitian dilakukan pada bulan Juli 2017 sampai Januari 2018.

3.2 Alat dan bahan

3.2.1 Alat

Alat yang digunakan dalam pengambilan minyak biji pala meliputi generator PEF, destilasi air dan uap, timbangan digital, botol kaca gelap 100 ml. Alat yang dibutuhkan untuk analisis meliputi timbangan analitik, piknometer, refraktometer, gelas ukur, pipet tetes seperangkat alat GCMS (*Gas Chromatography–Mass Spectrometry*) dan SEM (*Scanning Electron Microscopy*).

3.2.2 Bahan

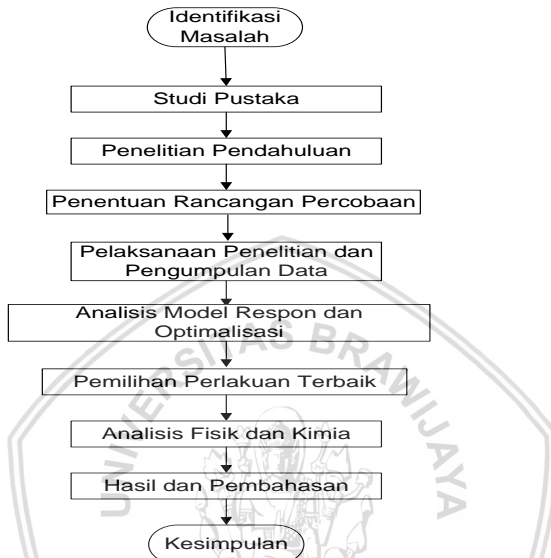
Bahan utama yang digunakan dalam penelitian ini adalah biji pala yang diperoleh dari petani di daerah Aceh, air, plastik bening, kain saring, kertas label, plastik wrap, dan tisu.

3.3 Batasan Masalah

1. Bahan baku yang digunakan yaitu biji pala yang didapatkan dari Aceh.
2. Biji pala kering dengan cangkang dihancurkan menggunakan alat tumbuk dengan berat ± 0.5 kg.
3. Perlakuan pendahuluan PEF dilakukan dengan aliran listrik DC, pada tegangan 4000, 5000, 6000 volt, frekuensi 4000, 5000, 6000 Hz dan pada jarak katoda dan anoda 20 cm dengan waktu paparan PEF selama 360 detik.
4. Destilasi biji pala dilakukan dengan metode destilasi uap-air selama 8, 10 dan 12 jam.

3.4 Prosedur penelitian

Prosedur penelitian meliputi kegiatan identifikasi masalah hingga kesimpulan yang dapat dilihat pada **Gambar 3.1**



Gambar 3.1 Diagram Alir Prosedur Penelitian

3.4.1 Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah dilakukan untuk memberikan arah yang jelas bagi peneliti dalam menentukan tahap atau langkah selanjutnya. Identifikasi masalah yang diselesaikan melalui penelitian ini yaitu mendapatkan hasil minyak atsiri biji pala yang optimal dengan perlakuan PEF.

3.4.2 Studi Pustaka

Studi pustaka dilakukan untuk mengumpulkan informasi literatur dan data-data pendukung baik dari jurnal, buku maupun media internet yang berguna bagi penelitian. Informasi dan data yang dikumpulkan meliputi informasi mengenai minyak atsiri biji pala, proses destilasi, PEF, pengujian dan analisisnya.

3.4.3 Penelitian Pendahuluan

Penelitian pendahuluan digunakan untuk menentukan faktor yang akan diteliti. Setelah menentukan faktor apa yang diteliti maka selanjutnya menentukan level faktor yang akan diteliti. Penelitian pendahuluan berguna untuk mengetahui keberhasilan pembuatan minyak atsiri biji pala sesuai dengan faktor yang ditentukan

3.4.4 Penentuan Rancangan Percobaan

Rancangan Penelitian menggunakan Metode *Respon Surface Method* (RSM) dengan Rancangan Komposit Terpusat dengan menggunakan 3 faktor yaitu Tegangan, Frekuensi dan Lama destilasi. Sesuai dengan metode respon permukaan 3 faktor maka pengulangan dilakukan pada pada titik tengah ($X=0$) sebanyak 6 kali. Pada Tegangan 5000 volt ($X_1=0$), pada Frekuensi 5000 Hz ($X_2=0$) dan pada Lama Destilasi 10 jam ($X_3=0$). Nilai $\alpha = 2^{k/4}$, karena penelitian ini menggunakan tiga faktor maka nilai $k = 3$, sehingga $\alpha = 2^{3/4} = 1,681$. Tahapan selanjutnya menentukan level dari masing-masing faktor dalam percobaan sebagai berikut:

1. Penentuan rancangan faktorial 2^3 (pengaruh dari tiga faktor) sebagai ordo pertama dan ditetapkan level-level yang akan diteliti.
 - a. Faktor besar Tegangan (A) dengan level faktor:
 1. Tegangan 4000 volt ($X_1 = -1$)
 2. Tegangan 5000 volt ($X_1 = 0$)
 3. Tegangan 6000 volt ($X_1 = +1$)
 - b. Faktor besar Frekuensi (B) dengan level faktor:
 1. Frekuensi 4000 Hz ($X_2 = -1$)
 2. Frekuensi 5000 Hz ($X_2 = 0$)
 3. Frekuensi 6000 Hz ($X_2 = +1$)
 - c. Faktor Lama Destilasi (C) dengan level faktor :
 1. Lama Destilasi 8 jam ($X_3 = -1$)
 2. Lama Destilasi 10 jam ($X_3 = 0$)
 3. Lama Destilasi 12 jam ($X_3 = +1$)
2. Ditetapkan level-level faktor yang sesuai dengan titik pusat $X_1 = 0$, $X_2 = 0$, dan $X_3 = 0$. Pada faktor besar Tegangan, hubungan variabel asli dengan X_1 dapat diketahui dengan

menggunakan level-levelnya, yaitu 4000 ($X_1 = -1$), 5000 ($X_1 = 0$) sebagai titik tengahnya, dan 6000 ($X_1 = +1$) dengan jarak antar level sebesar 1000. Maka, hubungan kedua variabel tersebut yaitu:

$$X_1 = \frac{A - 5000}{1000}; A = 1000X_1 + 5000 \dots \dots \dots (3.1)$$

Pada faktor besar Frekuensi, hubungan variabel asli dengan X_1 dapat diketahui dengan menggunakan level-levelnya, yaitu 4000 ($X_2 = -1$), 5000 ($X_2 = 0$), dan 6000 ($X_2 = +1$) dengan jarak antar level sebesar 1000. Maka, hubungan kedua variabel tersebut yaitu:

$$X_2 = \frac{B - 5000}{1000}; B = 1000X_2 + 5000 \dots \dots \dots (3.2)$$

Pada Lama Destilasi, hubungan variabel asli dengan X_1 dapat diketahui dengan menggunakan level-levelnya, yaitu 8 ($X_3 = -1$), 10 ($X_3 = 0$), dan 12 ($X_3 = +1$) dengan jarak antar level sebesar 2. Maka, hubungan kedua variabel tersebut yaitu:

$$X_3 = \frac{C - 10}{2}; C = 2X_3 + 10 \dots \dots \dots (3.3)$$

3. Menentukan level-level yang bersesuaian dengan nilai $-\alpha = -1,681$ dan $\alpha = 1,681$ dengan perhitungan melalui hubungan variabel X_1 , X_2 dan X_3 dengan variabel asli dalam persamaan (3.1), (3.2) dan (3.2).

Dari persamaan (3.1)

- a. $X_1 = 1,681$, maka $A = 1000 (1,681) + 5000 = 6681$

- b. $X_1 = -1,681$, maka $A = 1000 (-1,681) + 5000 = 3319$

Dari persamaan (3.2)

- a. $X_2 = 1,681$, maka $B = 1000 (1,681) + 5000 = 6681$

- b. $X_2 = -1,681$, maka $B = 1000 (-1,681) + 5000 = 3319$

Dari Persamaan (3.3)

- a. $X_3 = 1,681$, maka $C = 2 (1,681) + 10 = 13,36$

- b. $X_3 = -1,681$, maka $C = 2 (-1,681) + 10 = 6.63$

Rancangan percobaan dapat dilihat pada **Tabel 3.1**

Tabel 3.1. Rancangan Percobaan

Variabel Kode			Variabel Asli			Respon		
X1	X2	X3	Tegangan (volt)	Frekuensi (Hz)	Lama Destilasi (jam)	Rendemen (%b/b)	Indeks bias	Berat jenis (g/ml)
0	0	0	5000	5000	10	Y1	Y2	Y3
1,681	0	0	6681,79	5000	10	Y1	Y2	Y3
0	0	0	5000	5000	10	Y1	Y2	Y3
+1	+1	-1	6000	6000	8	Y1	Y2	Y3
0	0	1,681	5000	5000	13,36	Y1	Y2	Y3
+1	-1	+1	6000	4000	12	Y1	Y2	Y3
0	0	0	5000	5000	10	Y1	Y2	Y3
-1	-1	+1	4000	4000	12	Y1	Y2	Y3
-1	+1	+1	4000	6000	12	Y1	Y2	Y3
0	0	0	5000	5000	10	Y1	Y2	Y3
-1	-1	-1	4000	4000	8	Y1	Y2	Y3
0	0	-1,681	5000	5000	6.64	Y1	Y2	Y3
0	0	0	5000	5000	10	Y1	Y3	Y3
0	0	0	5000	5000	10	Y1	Y3	Y3
0	-1,681	0	5000	3318,21	10	Y1	Y2	Y3
-1	+1	-1	4000	6000	8	Y1	Y2	Y3
+1	+1	+1	6000	6000	12	Y1	Y2	Y3
-1,681	0	0	3318.21	5000	10	Y1	Y2	Y3
+1	-1	-1	6000	4000	8	Y1	Y2	Y3
0	1,681	0	5000	6681,79	10	Y1	Y2	Y3

Berdasarkan **Tabel 3.1** maka diperoleh titik komposit terpusat yang dicobakan seperti pada **Tabel 3.2**.

Tabel 3.2. Titik Komposit Terpusat yang Dicobakan

Faktor	$-\alpha$	-1	0	1	α
Tegangan (Volt)	3319	4000	5000	6000	6681
Frekuensi (Hz)	3319	4000	5000	6000	6681
Lama Destilasi (jam)	6.63	8	10	12	13,36

3.4.5 Pelaksanaan Penelitian

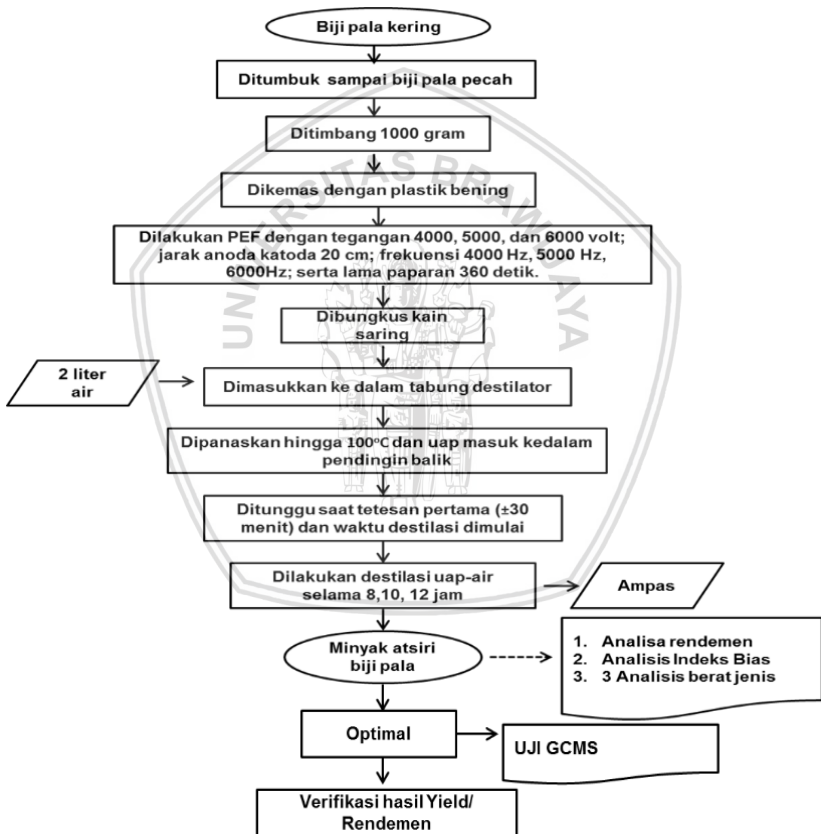
Penelitian dilakukan menjadi dua tahap yaitu penelitian pendahuluan dan penelitian lanjutan. Penelitian pendahuluan untuk menentukan level faktor yang diteliti sedangkan penelitian lanjutan yaitu proses destilasi minyak atsiri dan pengujiannya. Adapun tahapan pelaksanaan penelitian destilasi minyak atsiri pala remah dengan perlakuan pendahuluan PEF adalah sebagai berikut:

1. Menyiapkan biji pala dengan cangkang pada kondisi kering
2. Menumbuk biji pala sebanyak satu kali tumbukan menggunakan tumbukan $\pm 0,5$ gram.
3. Menimbang biji pala seberat 1 kg kemudian dimasukkan kedalam plastik bening.
4. Memberikan perlakuan pendahuluan PEF dengan aliran arus DC, tegangan 4000, 5000, 6000 volt; jarak anoda katoda 20 cm; frekuensi 4000, 5000, 6000 Hz, serta lama paparan 360 detik.
5. Membersihkan tabung destilator dan mengisi air sebanyak 2 liter.
6. Mengeluarkan biji pala yang sudah di PEF dan dibungkus menggunakan kain saring kemudian dimasukkan kedalam tabung destilator.
7. Mengunci rapat bagian penutup destilator agar tidak ada air yang menguap.
8. Memanaskan destilator hingga suhu 100°C (± 30 menit) hingga uap mulai muncul dan masuk kedalam pendingin balik.
9. Destilasi uap-air dilakukan selama 8, 10, 12 jam (dihitung dari tetesan pertama).

10. Minyak yang diperoleh dipisahkan dari residu secara manual dan dilakukan analisa rendemen, analisa indeks bias dan analisa berat jenis

11. Menganalisis komponen kimia pada alat (GC-MS) pada perlakuan terbaik dan perlakuan pendahuluan.

Diagram alir penelitian utama destilasi minyak atsiri biji pala remah dengan perlakuan pendahuluan PEF dapat dilihat pada **Gambar 3.2**



Gambar 3.2 Diagram alir destilasi minyak biji pala pada penelitian utama

3.4.6 Analisis Fisik

Analisis fisik yang dilakukan pada penelitian ini meliputi:

- a. Analisa rendemen (SNI 06-3735-1998)
- b. Analisa indeks bias (AOAC, 1980)
- c. Analisa berat jenis (SNI, 2006)

Prosedur analisa masing-masing dapat dilihat pada **Lampiran 1**.

3.4.7 Pengolahan dan Analisis data

Pengolahan dan analisa data dilakukan dengan menggunakan *software Design Expert*. Data dimasukkan dalam rancangan komposit terpusat dengan tiga faktor. Kemudian respon yang digunakan meliputi rendemen, indeks bias dan berat jenis minyak atsiri biji pala. Analisis data digunakan *Design Expert 7.1.5*. langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Metode yang dipilih untuk digunakan yaitu Permukaan Respon (*Respon Surface*), maka memilih desain model untuk rancangan percobaan yaitu Desain Komposit Terpusat (*Central Composit Design*)
2. Menetapkan faktor perlakuan yaitu tegangan, frekuensi dan lama destilasi
3. Menuliskan nama dan satuan dari masing-masing faktor perlakuan yang digunakan dalam penelitian serta memasukkan batas minimal dan maksimalnya.
4. Menetapkan jumlah, nama, dan satuan respon yaitu rendemen, indeks bias dan berat jenis.
5. Memasukkan data hasil penelitian ke masing-masing kolom.
6. Hasil analisis setiap respon dibuka untuk mengetahui hasil perhitungan analisis ragam ANOVA dari semua respon.
7. Melihat kurva 3 dimensi untuk mengetahui hubungan antara faktor perlakuan dengan masing-masing respon. Kurva tersebut didapatkan setelah menekan menu *view*.
8. Melihat hasil solusi optimal dari hasil komputasi menggunakan *Design Expert*.

9. Melakukan verifikasi hasil solusi optimal yaitu membandingkan antara kondisi hasil RSM dengan hasil penelitian berdasarkan model dari RSM.

3.4.8 Analisa Komponen Kimia

Analisa komponen kimia minyak dilakukan pada hasil perlakuan optimal dan hasil perlakuan kontrol (non-PEF). Analisa tersebut menggunakan GC-MS dengan prosedur sebagai berikut (Bouchonnet, 2013):

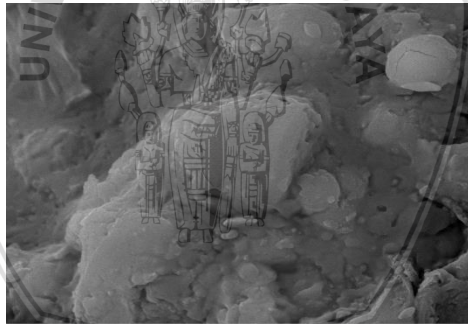
1. Melakukan preparasi sampel
2. Menginjeksikan campuran larutan ke dalam kolom GC melalui *heated injection port*.
3. Melewatkan campuran yang dibawa oleh gas pembawa (helium) dengan laju alir tertentu pada kolom GC yang dipanaskan (*GC separation*).
4. Mengidentifikasi *spectra massa* senyawa yang tidak diketahui menggunakan referensi komputerisasi.
5. Mencatat *spectra massa* secara reguler dalam interval 0,5 sampai 1 detik selama pemisahan GC. Selanjutnya disimpan dalam sistem instrumen data untuk dapat digunakan dalam analisis.



IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengaruh Perlakuan PEF pada Biji Pala

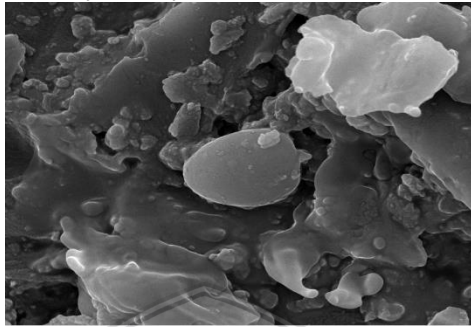
Secara umum minyak atsiri pada tumbuhan terletak pada sel vakuola yang berfungsi sebagai tempat penyimpanan cadangan makanan. Sel tersebut dilindungi oleh dinding sel dan membran plasma. Berdasarkan hasil foto SEM (*Scanning Electron Microscopy*) pada **Gambar 4.1** menunjukkan bentuk sel biji pala dengan perbesaran 10.000x sebelum diberi perlakuan PEF (*Pulsed Electric Field*). Pada **Gambar 4.1** dapat dilihat bahwa pada perlakuan tanpa PEF struktur pada biji pala masih tetap utuh dan tidak ditemukan kerusakan yang berarti. Pada lingkungan sekitar sel tersebut dideteksi adanya senyawa C, O, Mg, P, S, K, dan Cu. Perlakuan PEF pada biji pala bertujuan untuk merusak/memecah dinding sel sehingga minyak atsiri keluar dari sel lebih mudah dan meningkatkan hasil minyak saat destilasi.



Gambar 4.1 Struktur Sel Biji Pala Sebelum Perlakuan PEF (10.000x)

Pada **Gambar 4.2** menunjukkan hasil perlakuan PEF pada biji pala dengan perbesaran 10.000x. Berdasarkan **Gambar 4.2** ditemukan struktur jaringan biji pala yang mendapat perlakuan PEF terlihat mulai rusak, tidak beraturan dan terdapat senyawa C, O, Mg, P, S, K, Ca, dan Cu karena pemberian frekuensi 6000 Hz, tegangan 2000 volt dan waktu paparan PEF selama 20 detik. Menurut *Gaschoka et. al.*, (2010) Penggunaan PEF terhadap sel jaringan tanaman akan

mengakibatkan elektroporasi pada membran dinding sel dan mampu meningkatkan permeabilitas dinding sel serta mempermudah keluarnya senyawa intraseluler.



Gambar 4.2 Perubahan Struktur Biji Pala dengan Perlakuan PEF ($V=2000$ volt, waktu 20s) (10.000x)

Pada sel tanaman ditemukan kation (K^+ , Na^+ , Ca^{+2} dan H^+) apabila disekeliling kation diberikan medan listrik dapat mempengaruhi pergerakan ion-ion tersebut dan mengakibatkan membuka dan menutupnya pintu kanal ion "*gate ion channels*". Dimana "*gate ion channels*" merupakan peristiwa terjadinya pergerakan ion dalam bahan akibat adanya perbedaan potensial sisi luar maupun sisi dalam sel. Tegangan yang dihasilkan dari PEF berupa elektron-elektron akan mengaktifasi ion-ion yang terdapat pada sel, terutama ion Na^+ yang banyak diluar membran sel yang menyebabkan terjadinya kanal ion. Kanal Na^+ pada sel akan terbuka dan natrium yang banyak di luar sel akan masuk ke dalam sel (dari konsentrasi tinggi ke rendah). Sisi dalam sel akan mengalami depolarisasi atau peristiwa berkurangnya perbedaan polaritas pada membran sel antara sisi dalam dan sisi luar yang disebabkan oleh beda potensial atau perbedaan muatan antara sisi dalam dan sisi luar sel yang berkurang. Adanya perubahan beda potensial tersebut, membuat kanal K^+ akan membuka sementara kanal Na^+ menutup. Kanal K^+ akan membuat ion kalium keluar dari sel dan mengembalikan potensial seperti semula dan polaritas mebran sel seperti semula (Chambell dkk., 2004). Namun adanya konsentrasi ion K^+ yang lebih tinggi dibandingkan Na^+

maka dapat menimbulkan adanya hiperpolarisasi atau peningkatan polarisasi yang berlebih pada membran sel. Waktu paparan tertentu PEF yang diaplikasikan akan membuat sel terus mengalami kanal ion yang dapat membentuk pori-pori semakin banyak.

Menurut Schow *et. al.* (2012), semakin tinggi tegangan, frekuensi dan waktu paparan PEF akan membuat pergerakan ion semakin aktif dan membentuk pori-pori yang semakin lebar pada dinding sel atau elektroporasi, hingga dapat membuat dinding sel mengkerut, rusak, bahkan pecah. Pori-pori tersebut akan meningkatkan permeabilitas membran sel terhadap ion. Menurut Pataro *et. al.* (2011), peningkatan frekuensi akan mempengaruhi ukuran elektroporasi dinding sel yang menyebabkan pori-pori yang terbentuk semakin besar dan meningkatkan permeabilitas membran sel yang menyebabkan pelarut akan lebih mudah menjangkau bagian dalam jaringan termasuk sel penyimpan minyak yaitu vakuola. Oleh sebab itu, minyak atsiri dalam sel lebih mudah terlarut sehingga rendemen menjadi meningkat serta dapat meningkatkan kualitas.

4.2. Hasil Analisa Desain Komposit Terpusat

4.2.1 Respon Rendemen Minyak Atsiri

Rendemen minyak atsiri merupakan perbandingan antara massa minyak atsiri yang dihasilkan selama proses dengan massa bahan yang digunakan. Pada penelitian, minyak atsiri yang dihasilkan dalam satuan mililiter (ml), sehingga perlu dikonversikan kesatuan gram (g) dengan mengalikan dengan berat jenis minyak atsiri. Rendemen minyak atsiri dinyatakan dalam satuan persen (%). Data hasil pengujian rendemen minyak atsiri biji pala dengan menggunakan aplikasi *Design Expert 7.1.5* seperti pada **Tabel 4.1**

Tabel 4.1 Data Respon Rendemen

Variable Kode			Variable Asli		Lama	Respon
X1	X2	X3	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Destilasi (Jam)	Rendemen (%b/b)
0	0	0	5000	5000	10	4.32
1,681	0	0	6681.79	5000	10	3.34
0	0	0	5000	5000	10	4.06
+1	+1	-1	6000	6000	8	3.02
0	0	1,681	5000	5000	13.36	4.15
+1	-1	+1	6000	4000	12	4.33
0	0	0	5000	5000	10	4.12
-1	-1	+1	4000	4000	12	4.39
-1	+1	+1	4000	6000	12	5.09
0	0	0	5000	5000	10	4.52
0	0	0	5000	5000	10	4,32
-1	-1	-1	4000	4000	8	3.54
0	0	-1,681	5000	5000	6.64	2.38
0	0	0	5000	5000	10	4.68
0	-1,681	0	5000	3318.21	10	3.23
-1	+1	-1	4000	6000	8	3.30
+1	+1	+1	6000	6000	12	4.32
-1,681	0	0	3318.21	5000	10	3.58
+1	-1	-1	6000	4000	8	3.39
0	1,681	0	5000	6681.79	10	3.53

Pada **Tabel 4.1** menunjukkan hubungan antara tegangan, frekuensi dan lama destilasi terhadap rendemen minyak atsiri biji pala. Rendemen tertinggi didapatkan pada proses destilasi sebesar 5.09% dari perlakuan tegangan 4000 volt, frekuensi 6000 Hz dan lama destilasi 12 jam. Rendemen terendah didapatkan pada proses destilasi sebesar 2.38% dari perlakuan tegangan 5000 volt, frekuensi 5000 Hz dan lama destilasi 6 jam

64 menit. Hasil penelitian tersebut menunjukkan semakin lama waktu destilasi, semakin tinggi frekuensi dan kemudian disusul tegangan menghasilkan rendemen yang lebih tinggi. Peningkatan ini dikarenakan penggunaan frekuensi dan waktu paparan PEF yang tepat dapat menyebabkan kerusakan membran sel sehingga terjadi pembentukan pori-pori yang melebar dan tidak dapat kembali pada bentuk asal (*irreversible*) yang disebabkan oleh proses elektroporasi pada membran sel oleh muatan medan listrik (Donsi, *et. al.*, 2010). Hal ini sesuai dengan pernyataan Janositz (2010), rusaknya matrik bahan akan mempermudah keluarnya senyawa aktif dari dalam sel bahan ke pelarut di sekitarnya saat proses ekstraksi sehingga rendemen yang dihasilkan lebih banyak.

Penggunaan Tegangan yang di aplikasikan pada paparan PEF berhubungan dengan daya rusak terhadap sel. Pada Kisaran tegangan (4000-6000) volt peristiwa *gate ion channel* pada dinding sel mengalami peningkatan sehingga terjadi kerusakan pada dinding sel bahkan menyebabkan pecahnya dinding sel akibat elektroporasi. Pada tegangan 4000 volt diatas merupakan kondisi yang optimal karena membran sel sudah rusak dan cairan minyak lebih mudah menembus dinding sel pada saat proses destilasi. Apabila nilai kuat medan listrik <4000 volt maka mebran sel belum mengalami kerusakan yang berarti dikarenakan medan listrik yang bekerja belum cukup kuat untuk merusak membran sel. Sebaliknya apabila kuat medan listrik yang diberikan >4000 volt akan terjadi kerusakan dinding sel yang parah dan hal ini berdampak pada proses destilasi dan hasil minyak yang diperoleh. Apabila kuat medan listrik melebihi 4000 volt maka minyak diduga menguap karena medan listrik yang bekerja terlalu kuat dan energinya besar. Hal ini menyebabkan jumlah minyak yang diperoleh berkurang karena sifat dari minyak atsiri yang *volatile* (mudah menguap) sehingga rendemen yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan.

Hal ini diperkuat oleh penelitian Sukardi dkk (2017), ekstraksi minyak nilam dengan tegangan (1000-2000 *volt*), frekuensi (1000-2000 Hz), dan lama destilasi (4-8 *hours*). Kondisi optimal PEF dalam memperoleh minyak atsiri yakni pada tegangan 2000 volt, frekuensi 1874 Hz, 8 jam destilasi dan rendemen yang

diperoleh adalah 8.037 ml ($\pm 2,7\%$) lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa PEF yang hanya menghasilkan rendemen sekitar ($\pm 1,8\%$). Ekstraksi biji pinang dengan 2 faktor yaitu tegangan (3500-4500 volt) dan waktu PEF (10, 15, 20 detik). Hasil perlakuan optimal pada besar tegangan PEF 4500 volt dan lama waktu PEF 20 detik dan menghasilkan rendemen sebesar 13,04% (Fuaida, 2013). Penelitian Sukardi dkk (2014) ekstraksi minyak mawar dengan menggunakan 2 faktor frekuensi (1000 dan 1500 Hz) dan waktu destilasi (2,4,6 jam). Hasil perlakuan optimal yaitu kombinasi frekuensi PEF sebesar 1500 Hz dengan waktu ekstraksi selama 6 jam menghasilkan rendemen sebesar 0.703 %. Data respon rendemen yang diperoleh digunakan dalam analisa statistika untuk mengoptimasi variabel proses yaitu tegangan, frekuensi dan lama destilasi. Prediksi model persamaan optimal yang sesuai diperoleh dengan bantuan program *Design Expert DX 7.1.5*.

4.2.2 Respon Indeks Bias Minyak Atsiri

Data hasil pengujian indeks bias minyak atsiri biji pala dengan menggunakan aplikasi *Design Expert 7.1.5* seperti pada **Tabel 4.2**

Tabel 4.2 Data Respon Indeks Bias

Variable Kode			Variable Asli		Respon	
X1	X2	X3	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)	Lama Destilasi (Jam)	Indeks Bias
0	0	0	5000	5000	10	1.4769
1,681	0	0	6681.79	5000	10	1.4771
0	0	0	5000	5000	10	1.4751
+1	+1	-1	6000	6000	8	1.4759
0	0	1,681	5000	5000	13.36	1.4774
+1	-1	+1	6000	4000	12	1.4801

Tabel 4.2 Data Respon Indeks Bias (Lanjutan)

Variable Kode			Variable Asli		Lama Destilasi (Jam)	Respon Indeks Bias
X1	X2	X3	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)		
0	0	0	5000	5000	10	1.4763
-1	-1	+1	4000	4000	12	1.4759
-1	+1	+1	4000	6000	12	1.4771
0	0	0	5000	5000	10	1.4768
-1	-1	-1	4000	4000	8	1.4761
0	0	-1,681	5000	5000	6.64	1.4768
0	0	0	5000	5000	10	1.4759
0	0	0	5000	5000	10	1.4769
0	-1,681	0	5000	3318.21	10	1.4763
-1	+1	-1	4000	6000	8	1.4769
+1	+1	+1	6000	6000	12	1.4774
-1,681	0	0	3318.21	5000	10	1.4766
+1	-1	-1	6000	4000	8	1.4764
0	1,681	0	5000	6681.79	10	1.4764

Pada **Tabel 4.2** menunjukkan hubungan antara tegangan, frekuensi dan lama destilasi terhadap indeks bias minyak atsiri biji pala. Indeks bias tertinggi didapatkan pada proses destilasi sebesar 1,4801 dari perlakuan tegangan 6000 volt, frekuensi 4000 Hz dan lama destilasi 12 jam. Indeks bias terendah didapatkan pada proses destilasi sebesar 1.4751 dari perlakuan tegangan 5000 volt, frekuensi 5000 Hz dan lama destilasi 10 jam.

Hasil penelitian tersebut menunjukkan peningkatan nilai indeks bias, seiring dengan semakin tinggi tegangan, frekuensi dan semakin lama waktu ekstraksi meskipun peningkatan yang terjadi tidak signifikan. Menurut Hidayati dkk. (2015), nilai indeks bias minyak biji pala dipengaruhi oleh komposisi fraksi ringan yang terdiri dari senyawa *hidrokarbon monoterpena* ($C_{10}H_{16}$) dan fraksi berat yang terdiri dari *monoterpena teroksigenasi*

(*terpenoid*) dan *hidrokarbon sesquiterpena (terpen)* ($C_{15}H_{12}$). Semakin banyak komposisi fraksi berat, maka kerapatan minyak akan semakin tinggi. Jika kerapatan minyak meningkat, maka sinar yang menembus minyak akan dibiaskan mendekati garis normal dan nilai indeks bias minyak semakin tinggi.

Penelitian Sukardi dkk (2014) ekstraksi minyak mawar dengan menggunakan 2 faktor frekuensi (1000 dan 1500 Hz) dan waktu destilasi (2,4,6 jam). Hasil perlakuan optimal yaitu kombinasi frekuensi PEF sebesar 1500 Hz dengan waktu ekstraksi selama 6 jam menghasilkan nilai indeks bias sebesar 1,537. Indeks bias ekstraksi minyak atsiri bunga melati dengan metode maserasi dan perlakuan pendahuluan PEF dengan tegangan (1000, 1250, 1500) volt dan frekuensi 1000 Hz diperoleh nilai indeks bias tertinggi sebesar 1,483 pada tegangan 1250 volt dan nilai indeks bias akan menurun pada tegangan 1500 volt sebesar 1,475 (Sukardi dkk, 2013). Data respon indeks bias yang diperoleh digunakan dalam analisa statistika untuk mengoptimasi variabel proses yaitu tegangan, frekuensi dan lama destilasi. Prediksi model persamaan optimal yang sesuai diperoleh dengan bantuan program *Design Expert* DX 7.1.5.

4.2.3 Respon Berat Jenis Minyak Atsiri

Data hasil pengujian berat jenis minyak atsiri biji pala dengan menggunakan aplikasi *Design Expert* 7.1.5 seperti pada **Tabel 4.3**

Tabel 4.3 Data Respon Berat Jenis

Variable Kode			Variable Asli		Lama Destilasi (Jam)	Respon Berat Jenis (g/ml)
X1	X2	X3	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)		
0	0	0	5000	5000	10	0.86
1,681	0	0	6681.79	5000	10	0.88
0	0	0	5000	5000	10	0.86
+1	+1	-1	6000	6000	8	0.86

Tabel 4.3 Data Respon Berat Jenis (Lanjutan)

Variable Kode			Variable Asli		Lama Destilasi (Jam)	Respon Berat Jenis (g/ml)
X1	X2	X3	Tegangan (Volt)	Frekuensi (Hz)		
0	0	1,681	5000	5000	13.36	0.87
+1	-1	+1	6000	4000	12	0.88
0	0	0	5000	5000	10	0.88
-1	-1	+1	4000	4000	12	0.86
-1	+1	+1	4000	6000	12	0.89
0	0	0	5000	5000	10	0.86
-1	-1	-1	4000	4000	8	0.86
0	0	1,681	5000	5000	6.64	0.85
0	0	0	5000	5000	10	0.87
0	0	0	5000	5000	10	0.86
0	-	-	-	-	-	-
0	1,681	0	5000	3318.21	10	0.87
-1	+1	-1	4000	6000	8	0.86
+1	+1	+1	6000	6000	12	0.88
-	-	-	-	-	-	-
1,681	0	0	3318.21	5000	10	0.88
+1	-1	-1	6000	4000	8	0.87
0	1,681	0	5000	6681.79	10	0.88

Pada **Tabel 4.3** menunjukkan hubungan antara tegangan, frekuensi dan lama destilasi terhadap berat jenis minyak atsiri biji pala. Berat jenis tertinggi didapatkan pada proses destilasi sebesar 0.89 g/ml dari perlakuan tegangan 4000 volt, frekuensi 6000 Hz dan lama destilasi 12 jam. Berat jenis terendah didapatkan pada proses destilasi sebesar 0.85 g/ml dari perlakuan tegangan 5000 volt, frekuensi 5000 Hz dan lama destilasi 6 jam 64 menit.

Hasil Penelitian tersebut menunjukkan bahwa semakin lama destilasi dan semakin tinggi frekuensi kemudian disusul tegangan menghasilkan berat jenis yang lebih tinggi. Menurut Nugraheni dkk. (2016), menyatakan bahwa metode penyulingan

uap air dan destilasi air tidak berpengaruh terhadap berat jenis minyak atsiri. Semakin lama waktu destilasi tidak menjamin terjadi kenaikan pada kualitas minyak atsiri yang dihasilkan. Nilai berat jenis juga dipengaruhi oleh kerapatan minyak, semakin banyak komposisi fraksi berat maka kerapatan minyak juga semakin tinggi dan nilai berat jenis juga semakin besar.

Penelitian Sukardi, dkk (2014) ekstraksi minyak bunga melati menggunakan 2 faktor tegangan (1000, 1250, 1500) volt dan jarak anoda-katoda (10, 15, 20) didapatkan perlakuan terbaik pada kombinasi tegangan 1250 volt, jarak katoda 15, frekuensi 1000 hz menghasilkan berat jenis sebesar 0.9492. Data respon berat jenis yang diperoleh digunakan dalam analisa statistika untuk mengoptimasi variabel proses yaitu tegangan, frekuensi dan lama destilasi. Prediksi model persamaan optimal yang sesuai diperoleh dengan bantuan program *Design Expert DX 7.1.5*.

4.3 Analisa Model Statistik Respon

4.3.1 Analisa Pemilihan Model

Analisa model statistik pada masing-masing respon bertujuan untuk menentukan bentuk model yang dapat digambarkan sesuai data penelitian dan kemudian dianalisa secara statistik pengaruh faktor yang diujikan terhadap respon. Pada metode permukaan respon terdapat beberapa kriteria dalam pemilihan model statistik yaitu berdasarkan jumlah kuadrat dari urutan model (*Sequential Model Sum of Squares*), pengujian ketidaktepatan model (*Lack of Fit*), ringkasan model statistik (*Model Summary Statistic*) dan ANOVA. Adapun hasil analisa model statistik masing-masing respon adalah sebagai berikut:

4.3.1.1 Pemilihan Model Respon Rendemen

4.3.1.1.1 Berdasarkan *Sequential Model Sum of Squares*

Model terpilih berdasarkan uraian jumlah kuadrat adalah urutan *polynomial* dengan nilai tertinggi dimana syarat model yang diterima bernilai nyata jika P bernilai kurang dari 5% (0,05) yang berarti bahwa model tersebut dapat menggambarkan pengaruh signifikan terhadap respon. Perhitungan pemilihan

model berdasarkan “*Sequential Model Sum of Squares*” dapat dilihat pada **Tabel 4.4**.

Tabel 4.4 *Sequential Model Sum of Squares* Rendemen

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	p-value Prob > F	Keterangan
<i>Mean vs Total</i>	301.17	1	301.17			
<i>Linear vs Mean</i>	<u>4.75</u>	<u>3</u>	<u>1.58</u>	<u>7.07</u>	<u>0.0031</u>	<i>Suggested</i>
<i>2FI vs Linear</i>	0.32	3	0.11	0.42	0.7387	
<i>Quadratic vs 2FI</i>	<u>1.68</u>	<u>3</u>	<u>0.56</u>	<u>3.52</u>	<u>0.0567</u>	<i>Suggested</i>
<i>Cubic vs Quadratic</i>	0.11	4	0.028	0.11	0.9734	<i>Aliased</i>
<i>Residual</i>	1.48	6	0.25			
<i>Total</i>	309.49	20	15.47			

Berdasarkan pemilihan model *Sequential Model Sum of Squares* pada **Tabel 4.4** didapatkan hasil bahwa model terpilih yaitu *Linear vs Mean* karena memiliki nilai p terkecil ($p < 5\%$) yaitu 0.0031 yang menunjukkan bahwa peluang kesalahan model kurang dari 5% dan model *linear* berpengaruh nyata atau signifikan terhadap respon rendemen minyak atsiri biji pala. Pada Model *Quadratic vs 2FI* juga disarankan oleh program dan memiliki nilai p terkecil setelah model *Linear vs Mean* yakni sebesar 0.0567. Pada Model kubik menunjukkan status “*Aliased*” atau ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh besar tegangan, frekuensi dan lama destilasi terhadap respon rendemen juga dapat dijelaskan dalam model kubik yang memiliki ($p > 5\%$) yaitu 0.9734 sehingga program tidak menyarankan untuk memilih model tersebut.

4.3.1.1.2 Berdasarkan *Lack of Fit*

Dari keempat model, yang terpilih sebagai model berstatus “*suggested*” yaitu *Linear* dan *Quadratic*. Maka pemilihan model harus didasarkan pada hasil uji ketidaktepatan

model (*Lack of Fit*) dengan model pemilihan berstatus “*suggested*”. Hasil perhitungan ketidaktepatan model (*Lack of Fit*) disajikan pada **Tabel 4.5**.

Tabel 4.5 *Lack of Fit Test* Rendemen

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	p-value Prob > F	Keterangan
<u>Linear</u>	3.31	11	0.30	5.45	0.0370	<u>Suggested</u>
2FI	2.99	8	0.37	6.77	0.0249	
<u>Quadratic</u>	1.31	5	0.26	4.76	0.0561	<u>Suggested</u>
Cubic	1.20	1	1.20	21.77	0.0055	<i>Aliased</i>
Pure Error	0.28	5	0.055			

Berdasarkan perhitungan ketidaktepatan model (*Lack of Fit*), model *linear* dan *Quadratic* dinyatakan sebagai “*suggested*” yaitu model yang terpilih dan memiliki nilai p terbesar yaitu 0,0370 dan 0,0561 yang menunjukkan ketidaktepatan model bersifat tidak signifikan terhadap respon sebesar 3,70 % pada model *Linear* dan 5,61 % pada model *Quadratic*. Model ini dianggap tepat apabila simpangan dari model bersifat tidak beda nyata secara statistik pada taraf α tertentu, untuk kasus ini α yang digunakan adalah 0,05. Menurut Gasperz (1995), suatu model dianggap tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari sistem yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat tidak berbeda nyata secara statistik. Untuk model 2FI diperoleh nilai p sebesar 0.0249 namun model yang disarankan untuk dipilih berdasarkan program *Design Expert* adalah model *Linear* dan *Quadratic* karena memiliki nilai beda nyata lebih tinggi dibandingkan dengan model yang lain. Sedangkan model kubik juga terdapat nilai $p > 5\%$, namun dinyatakan dengan status “*Aliased*” atau tidak disarankan oleh program sehingga model ini tidak dipilih.

4.3.1.1.3 Berdasarkan *Model Summary Statistic*

Pemilihan model ketiga menggunakan program *Design Expert* DX 7.1.5 adalah *Model Summary Statistic*. Menurut Montgomery (2001) bahwa desain terbaik difokuskan pada nilai

adjusted R² dan *predicted R²* yang maksimal. Selain itu parameter yang digunakan untuk memilih model yang terbaik adalah model yang memiliki standar deviasi dan PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) paling minimal (Drapper and Smith, 1998). *Model Summary Statistic* disajikan dalam **Tabel 4.6**.

Tabel 4.6 Hasil Pemilihan Model Berdasarkan *Model Summary Statistic* Rendemen

Sumber Keragaman	Standar Deviasi	R-Square d	Adjusted R-Squared	Predicted R-Squared		Keterangan
<i>Linear</i>	0.47	0.5701	0.4895	0.3467	5.44	<i>Suggested</i>
2FI	0.50	0.6084	0.4277	0.3573	5.35	
<i>Quadratic</i>	0.40	0.8096	0.6382	-0.2437	10.36	<i>Suggested</i>
<i>Cubic</i>	0.50	0.8229	0.4391	-30.8024	264.86	<i>Aliased</i>

Tabel 4.6 menunjukkan bahwa desain model yang terpilih sebagai model yang tepat adalah *linear* dan *Quadratic*. Hal ini dikarenakan model *Linear* memiliki nilai PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) yang rendah dibandingkan dengan model 2FI dan *Cubic*. Pada model *Quadratic* memiliki nilai PRESS lebih tinggi dibanding model 2FI yakni sebesar 10.36 tetapi model tersebut disarankan oleh program. PRESS menunjukkan prediksi kesalahan jumlah kuadrat, apabila nilai PRESS rendah maka prediksi kesalahan semakin rendah. Nilai standar deviasi pada model *linear* yaitu 0.47 lebih kecil dibanding model 2FI (0.50) dan pada model *Quadratic* memiliki standar deviasi 0.40 lebih kecil dibanding model linear dan 2FI. Standar deviasi menunjukkan tingkat keragaman data yang rendah. Seiring dengan nilai standar deviasi yang lebih kecil, model *Quadratic* memiliki nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yang paling maksimal yaitu sebesar 0.6382 dan -0.2437. Parameter “*adjusted R²*” digunakan untuk mendapatkan nilai signifikansi variabel yang lebih tepat. Hal ini berarti variabel

besar tegangan, frekuensi, dan lama destilasi berpengaruh terhadap respon rendemen sebesar 63.82% pada model *Quadratic*. Pada Model *Linear* juga disarankan oleh model dan memiliki nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yaitu sebesar 0.4895 dan 0.3467. Hal ini berarti variabel besar tegangan, frekuensi, dan lama destilasi berpengaruh terhadap respon rendemen sebesar 48.95% pada model *Linear*.

Model terpilih didasarkan pada nilai standar deviasi dan PRESS (*Prediction Residuals Error Sum of Square*) terendah. Semakin besar nilai standar deviasi maka menunjukkan bahwa data semakin bervariasi, sehingga apabila nilai standar deviasi semakin kecil maka tingkat keseragaman data semakin besar (Santoso, 2008). Sedangkan nilai PRESS yang semakin kecil menunjukkan kesalahan data semakin kecil pula. Myers and Montgomery (2002), menyatakan bahwa penentuan model yang terbaik difokuskan pada nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yang maksimal. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai *R²* menunjukkan semakin lemahnya hubungan antara variabel *dependent* dan *independent* (Nisfianoor, 2009). Menurut Nawari (2010), nilai *R²* berkisar pada angka 0 sampai 1. Semakin mendekati nilai 1 maka pengaruh variabel peduga (*Independent*) terhadap variabel tergantung (*dependent*) semakin kuat. Berdasarkan tiga kriteria pemilihan model, maka model yang terpilih untuk menjelaskan hubungan antara variabel X_1 (tegangan), X_2 (frekuensi) dan X_3 (lama destilasi) terhadap respon Y_1 adalah model *Quadratic*.

4.3.1.2 Pemilihan Model Respon Indeks Bias

4.3.1.2.1 Berdasarkan *Sequential Model Sum of Squares*

Model terpilih berdasarkan uraian jumlah kuadrat adalah urutan *polynomial* dengan nilai tertinggi dimana syarat model yang diterima bernilai nyata jika P bernilai kurang dari 5% (0,05) yang berarti bahwa model tersebut dapat menggambarkan pengaruh signifikan terhadap respon. Perhitungan pemilihan model berdasarkan "*Sequential Model Sum of Squares*" dapat dilihat pada **Tabel 4.7**.

Tabel 4.7 *Sequential Model Sum of Squares* Indeks Bias

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	p-value Prob > F	Keterangan
<u>Mean</u> vs <u>Total</u>	43.61	1	43.61			<u>Suggested</u>
<u>Linear</u> vs <u>Mean</u>	4.478E-006	3	1.493E-006	1.72	0.2026	
<u>2FI</u> vs <u>Linear</u>	7.165E-006	3	2.388E-006	4.63	0.0205	<u>Suggested</u>
<u>Quadratic</u> vs <u>2FI</u>	1.987E-006	3	6.625E-007	1.41	0.2980	
<u>Cubic</u> vs <u>Quadratic</u>	2.042E-006	4	5.105E-007	1.15	0.4189	<i>Aliased</i>
Residual	2.673E-006	6	4.455E-007			
Total	43.61	20	2.18			

Berdasarkan pemilihan model *Sequential Model Sum of Squares* pada **Tabel 4.7** didapatkan hasil bahwa model terpilih yaitu *2FI* vs *linear* karena memiliki nilai p terkecil ($p < 5\%$) yaitu 0.0328 yang menunjukkan bahwa peluang kesalahan model kurang dari 5% dan model *2FI* vs *linear* berpengaruh nyata (signifikan) terhadap respon indeks bias minyak atsiri biji pala. Pada Model kubik menunjukkan status "*Aliased*" atau ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh besar tegangan, frekuensi dan lama destilasi terhadap respon indeks bias juga dapat dijelaskan dalam model kubik yang memiliki nilai ($p > 5\%$) yaitu 0.4189 sehingga program tidak menyarankan untuk memilih model tersebut.

4.3.1.2.2 Berdasarkan *Lack of Fit*

Dari keempat model yang terpilih sebagai model berstatus "*suggested*" yaitu *2FI*. Maka pemilihan model harus didasarkan pada hasil uji ketidaktepatan model (*Lack of Fit*) dengan model pemilihan berstatus "*suggested*". Hasil perhitungan ketidaktepatan model (*Lack of Fit*) disajikan pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.8 *Lack of Fit Test* Indeks Bias

Sumber Keraga- Man	Jumlah Kuadrat	Dera- -jat Be- bas	Kuadrat Tengah	F Hitung	p- value Prob > F	Keterangan
<i>Linear</i>	1.130E- 005	11	1.027E- 006	2.00	0.2296	
<i>2FI</i>	4.134E- 006	8	5.168E- 007	1.01	0.5223	<i>Suggested</i>
<i>Quadratic</i>	2.147E- 006	5	4.293E- 007	0.84	0.5756	
<i>Cubic</i>	1.047E- 007	1	1.047E- 007	0.20	0.6706	<i>Aliased</i>
<i>Pure Error</i>	2.568E- 006	5	5.137E- 007			

Berdasarkan perhitungan ketidaktepatan model (*Lack of Fit*), model 2FI dinyatakan sebagai “*suggested*” yaitu model yang terpilih dan memiliki nilai p terbesar yaitu 0,5223 yang menunjukkan ketidaktepatan model bersifat tidak signifikan terhadap respon sebesar 52,23%. Model ini dianggap tepat apabila simpangan dari model bersifat tidak beda nyata secara statistik pada taraf α tertentu, untuk kasus ini α yang digunakan adalah 0,05. Menurut Gasperz (1995), suatu model dianggap tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari sistem yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat tidak berbeda nyata secara statistik. Untuk model *Linear* dan *Quadratic* diperoleh nilai p berturut-turut sebesar 0,2296 dan 0,5756 yang menunjukkan bahwa model ini tidak berbeda nyata karena nilai $p > 5\%$, namun model yang disarankan untuk dipilih berdasarkan program *Design Expert* adalah model 2FI karena memiliki nilai beda nyata lebih tinggi dibandingkan dengan model yang lain. Sedangkan model kubik juga terdapat nilai $p > 5\%$, namun dinyatakan dengan status “*Aliased*” atau tidak disarankan oleh program sehingga model ini tidak dipilih.

4.3.1.2.3 Berdasarkan *Model Summary Statistic*

Pemilihan model ketiga menggunakan program *Design Expert DX 7.1.5* adalah *Model Summary Statistic*. Menurut

Montgomery (2001) bahwa desain terbaik difokuskan pada nilai *adjusted* R^2 dan *predicted* R^2 yang maksimal. Selain itu parameter yang digunakan untuk memilih model yang terbaik adalah model yang memiliki standar deviasi dan PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) paling minimal (Drapper and Smith, 1998). *Model Summary Statistic* disajikan dalam **Tabel 4.9**.

Tabel 4.9 Hasil Pemilihan Model Berdasarkan *Model Summary Statistic* Indeks Bias

Sumber Keragaman	Standar Deviasi	Adjusted		Predicted		PRESS	Keterangan
		R-Squared	R-Squared	R-Squared	R-Squared		
<i>Linear</i>	9.310E-004	0.2441	0.1024	-0.2656	2.322E-005		
<i>2FI</i>	7.180E-004	0.6347	0.4660	-0.1534	2.116E-005	-	<i>Suggested</i>
<i>Quadratic</i>	6.867E-004	0.7430	0.5177	-0.1625	2.133E-005		
<i>Cubic</i>	6.675E-004	0.8543	0.5386	-0.4591	2.167E-005		<i>Aliased</i>

Tabel 4.9 menunjukkan bahwa desain model yang terpilih sebagai model yang tepat adalah 2FI. Hal ini dikarenakan model 2FI memiliki nilai PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) yang rendah dibandingkan dengan model *Linear* dan *Quadratic*. PRESS menunjukkan prediksi kesalahan jumlah kuadrat, apabila nilai PRESS rendah maka prediksi kesalahan semakin rendah. Nilai standar deviasi pada model 2FI yaitu $7.180 \cdot 10^{-4}$ lebih kecil dibanding model linear $9.310 \cdot 10^{-4}$ dan Quadratic $6.867 \cdot 10^{-4}$. Standar deviasi menunjukkan tingkat keragaman data yang rendah. Seiring dengan nilai standar deviasi yang lebih kecil, model 2FI memiliki nilai *adjusted* R^2 dan *predicted* R^2 yang paling maksimal yaitu sebesar 0,4660 dan -0,1534. Parameter "*adjusted* R^2 " digunakan untuk mendapatkan nilai signifikansi variabel yang lebih tepat. Hal ini berarti variabel besar tegangan, frekuensi, dan lama destilasi berpengaruh terhadap respon indeks bias sebesar 46,60 % pada model 2FI.

Model terpilih didasarkan pada nilai standar deviasi dan PRESS (*Prediction Residuals Error Sum of Square*) terendah. Semakin besar nilai standar deviasi maka menunjukkan bahwa data semakin bervariasi, sehingga apabila nilai standar deviasi semakin kecil maka tingkat keseragaman data semakin besar (Santoso, 2008). Sedangkan nilai PRESS yang semakin kecil menunjukkan kesalahan data semakin kecil pula. Myers and Montgomery (2002), menyatakan bahwa penentuan model yang terbaik difokuskan pada nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yang maksimal. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai R^2 menunjukkan semakin lemahnya hubungan antara variabel *dependent* dan *independent* (Nisfiannoor, 2009). Menurut Nawari (2010), nilai R^2 berkisar pada angka 0 sampai 1. Semakin mendekati nilai 1 maka pengaruh variabel peduga (*Independent*) terhadap variabel tergantung (*dependent*) semakin kuat. Berdasarkan tiga kriteria pemilihan model, maka model yang terpilih untuk menjelaskan hubungan antara variabel X_1 (tegangan), X_2 (frekuensi) dan X_3 (lama destilasi) terhadap respon Y_2 adalah model 2FI.

4.3.1.3 Pemilihan Model Respon Berat Jenis

4.3.1.3.1 Berdasarkan *Sequential Model Sum of Squares*

Model terpilih berdasarkan uraian jumlah kuadrat adalah urutan *polynomial* dengan nilai tertinggi dimana syarat model yang diterima bernilai nyata jika P bernilai kurang dari 5% (0,05) yang berarti bahwa model tersebut dapat menggambarkan pengaruh signifikan terhadap respon. Perhitungan pemilihan model berdasarkan "*Sequential Model Sum of Squares*" dapat dilihat pada **Tabel 4.10**.

Tabel 4.10 *Sequential Model Sum of Squares* Berat Jenis

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Dera-jat Be-bas	Kuadrat Tengah	F Hitun g	p-value Prob > F	Keterang-an
<i>Mean Total</i>	vs 15.12	1	15.12			
<i>Linear Mean</i>	vs 6.800E-004	3	2.267E-004	2.56	0.0911	
<i>2FI vs Linear</i>	4.375E-004	3	1.458E-004	1.94	0.1731	
<i>Quadratic vs 2FI</i>	6.053E-004	3	2.018E-005	5.42	0.0179	<i>Suggested</i>
<i>Cubic vs Quadratic</i>	1.998E-005	4	4.996E-005	0.085	0.9839	<i>Aliased</i>
<i>Residual</i>	3.522E-004	6	5.869E-005			
<i>Total</i>	15.12	20	0.76			

Berdasarkan pemilihan model *Sequential Model Sum of Squares* pada **Tabel 4.10** didapatkan hasil bahwa model terpilih yaitu *Quadratic vs 2FI* karena memiliki nilai p terkecil ($p < 5\%$) yaitu 0.0179 yang menunjukkan bahwa peluang kesalahan model kurang dari 5% dan model *Quadratic vs 2FI* berpengaruh nyata (signifikan) terhadap respon berat jenis minyak atsiri biji pala. Pada Model kubik vs *Quadratic* menunjukkan status “*Aliased*” atau ditolak. Hal ini mengindikasikan bahwa pengaruh besar tegangan, frekuensi dan lama destilasi terhadap respon indeks bias juga dapat dijelaskan dalam model kubik yang memiliki nilai ($p > 5\%$) yaitu 0.9839 sehingga program tidak menyarankan untuk memilih model tersebut.

4.3.1.3.2 Berdasarkan *Lack of Fit*

Dari keempat model, yang terpilih sebagai model berstatus “*suggested*” yaitu *Quadratic*. Maka pemilihan model harus didasarkan pada hasil uji ketidaktepatan model (*Lack of Fit*) dengan model pemilihan berstatus “*suggested*”. Hasil

perhitungan ketidaktepatan model (*Lack of Fit*) disajikan pada **Tabel 4.11**.

Tabel 4.11 *Lack of Fit Test* Berat Jenis

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	F Hitung	p-value Prob > F	Keterangan
<i>Linear</i>	1.065E-003	11	9.682E-005	1.38	0.3799	
<i>2FI</i>	6.275E-004	8	7.844E-005	1.12	0.4713	
<u><i>Quadratic</i></u>	<u>1.137E-005</u>	<u>5</u>	<u>4.427E-006</u>	<u>0.063</u>	<u>0.9956</u>	<u><i>Suggested</i></u>
<i>Cubic</i>	2.153E-006	1	2.153E-005	0.031	0.8677	<i>Aliased</i>
<i>Pure Error</i>	3.500E-004	5	7.000E-005			

Berdasarkan perhitungan ketidaktepatan model (*Lack of Fit*), model *Quadratic* dinyatakan sebagai “*suggested*” yaitu model yang terpilih dan memiliki nilai p terbesar yaitu 0,9956 yang menunjukkan ketidaktepatan model bersifat tidak signifikan terhadap respon sebesar 99,56%. Model ini dianggap tepat apabila simpangan dari model bersifat tidak beda nyata secara statistik pada taraf α tertentu, untuk kasus ini α yang digunakan adalah 0,05. Menurut Gasperz (1995), suatu model dianggap tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari sistem yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat tidak berbeda nyata secara statistik. Sedangkan model kubik juga memiliki nilai $p > 5\%$, namun dinyatakan dengan status “*Aliased*” atau tidak disarankan oleh program sehingga model ini tidak dipilih.

4.3.1.3.3 Berdasarkan *Model Summary Statistic*

Pemilihan model ketiga menggunakan program *Design Expert DX 7.1.5* adalah *Model Summary Statistic*. Menurut Montgomery (2001) bahwa desain terbaik difokuskan pada nilai *adjusted* R^2 dan *predicted* R^2 yang maksimal. Selain itu parameter yang digunakan untuk memilih model yang terbaik

adalah model yang memiliki standar deviasi dan PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) paling minimal (Drapper and Smith, 1998). *Model Summary Statistic* disajikan dalam **Tabel 4.12**.

Tabel 4.12 Hasil Pemilihan Model Berdasarkan *Model Summary Statistic* Berat Jenis

Sumber Keragaman	Standar Deviasi	Adjusted		Predicted		PRESS	Keterangan
		R-Squared	R-Squared	R-Squared	R-Squared		
<i>Linear</i>	9.404E-003	0.3246	0.1980	-0.0797	-0.0797	2.262E-003	
<i>2FI</i>	8.671E-003	0.5334	0.3181	0.1961	0.1961	1.684E-003	
<u><i>Quadratic</i></u>	<u>6.100E-003</u>	<u>0.8224</u>	<u>0.6625</u>	<u>0.6700</u>	<u>0.6700</u>	<u>6.913E-004</u>	<u><i>Suggested</i></u>
<i>Cubic</i>	7.661E-003	0.8319	0.4677	5.331	5.331	9.782E-004	<i>Aliased</i>

Tabel 4.12 menunjukkan bahwa desain model yang terpilih sebagai model yang tepat adalah *Quadratic*. Hal ini dikarenakan model *Quadratic* memiliki nilai PRESS (*Prediction Error Sum of Squares*) yang rendah dibandingkan dengan model *Linear*, *2FI* dan *Cubic*. PRESS menunjukkan prediksi kesalahan jumlah kuadrat, apabila nilai PRESS rendah maka prediksi kesalahan semakin rendah. Nilai standar deviasi pada model *Quadratic* yaitu $6.100 \cdot 10^{-3}$ lebih kecil dibanding model *Linear* ($9.404 \cdot 10^{-3}$) dan *2FI* ($8.671 \cdot 10^{-3}$). Standar deviasi menunjukkan tingkat keragaman data yang rendah. Seiring dengan nilai standar deviasi yang lebih kecil, model *Quadratic* memiliki nilai *adjusted R²* dan *predicted R²* yang paling maksimal yaitu sebesar 0,6625 dan 0.6100. Parameter “*adjusted R²*” digunakan untuk mendapatkan nilai signifikansi variabel yang lebih tepat. Hal ini berarti variabel besar tegangan, frekuensi, dan lama destilasi berpengaruh terhadap respon berat jenis sebesar 66,25 % pada model *Quadratic*.

Model terpilih didasarkan pada nilai standar deviasi dan PRESS (*Prediction Residuals Error Sum of Square*) terendah. Semakin besar nilai standar deviasi maka menunjukkan bahwa data semakin bervariasi, sehingga apabila nilai standar deviasi semakin kecil maka tingkat keseragaman data semakin besar (Santoso, 2008). Sedangkan nilai PRESS yang semakin kecil menunjukkan kesalahan data semakin kecil pula. Myers and Montgomery (2002), menyatakan bahwa penentuan model yang terbaik difokuskan pada nilai adjusted R^2 dan predicted R^2 yang maksimal. Hal ini dikarenakan semakin kecil nilai R^2 menunjukkan semakin lemahnya hubungan antara variabel *dependent* dan *independent* (Nisfiannoor, 2009). Menurut Nawari (2010), nilai R^2 berkisar pada angka 0 sampai 1. Semakin mendekati nilai 1 maka pengaruh variabel peduga (*Independent*) terhadap variabel tergantung (*dependent*) semakin kuat. Berdasarkan tiga kriteria pemilihan model, maka model yang terpilih untuk menjelaskan hubungan antara variabel X_1 (tegangan), X_2 (frekuensi) dan X_3 (lama destilasi) terhadap respon Y_3 adalah model *Quadratic*.

4.3.2 Analisa Ragam (ANOVA) dan Pengaruh Faktor Terhadap Respon

4.3.2.1.1 Analisa Ragam (ANOVA) Respon Rendemen

Berdasarkan hasil pengolahan data menggunakan *Design Expert 7.1.5* model proses yang terpilih adalah model *Quadratic*. Hasil analisa ragam (ANOVA) untuk respon rendemen yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.13**.

Tabel 4.13 Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Respon Rendemen

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	Nilai F	Nilai P Prob>F	Keterangan
Model	6.74	9	0.75	4.72	0.0117	<i>Significant</i>
A	4.52	1	4.52	28.50	0.0003	<i>Significant</i>
B	0.025	1	0.025	0.16	0.6996	<i>Not Significant</i>
C	0.20	1	0.20	1.28	0.2847	<i>Not significant</i>
AB	0.21	1	0.21	1.33	0.2753	<i>Not Significant</i>

Tabel 4.13 Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Respon Rendemen (Lanjutan)

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	Nilai F	Nilai P Prob>F	Keterangan
AC	0.020	1		0.13	0.7299	<i>Not significant</i>
BC	0.088	1	0.088	0.56	0.4730	<i>Not Significant</i>
A ²	0.90	1	0.93	5.66	0.0387	<i>significant</i>
B ²	0.63	1	0.63	3.97	0.0745	<i>Not Significant</i>
C ²	0.47	1	0.47	2.96	0.1159	<i>Not Significant</i>
<i>Residual</i>	1.59	10	0.16			
<i>Lack of Fit</i>	1.31	5	0.26	4.76	0.0561	<i>Not significant</i>
<i>Pure Error</i>	0.28	5	0.055			
<i>Cor Total</i>	8.33	19				

Keterangan :

A = Variabel X₁ (lama destilasi)

B = Variabel X₂ (frekuensi)

C = Variabel X₃ (tegangan)

Berdasarkan hasil nilai ANOVA pada **Tabel 4.13** diketahui bahwa model dan A-lama destilasi menunjukkan nilai yang signifikan $p < 0.05$, sedangkan B-frekuensi dan C-tegangan menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p > 0.05$) yang berarti bahwa faktor B-frekuensi dan C-tegangan tidak berpengaruh secara nyata signifikan terhadap respon rendemen melainkan hanya faktor lama destilasi yang berpengaruh nyata terhadap respon rendemen. Pada interaksi antara faktor A-lama destilasi dan B-frekuensi, A-lama destilasi dan C-tegangan dan B-frekuensi dan C-tegangan menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p > 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa interaksi antar faktor A-lama destilasi dan B-frekuensi, A-lama destilasi dan C-tegangan, B-frekuensi dan C-Tegangan tidak berpengaruh secara nyata terhadap respon rendemen. Pada faktor A-lama destilasi secara kuadratik menunjukkan nilai yang signifikan ($p < 0.05$) sedangkan pada faktor B-frekuensi dan C-tegangan secara kuadratik menunjukkan nilai yang tidak signifikan

($p > 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa hanya faktor A-lama destilasi dan A-lama destilasi secara kuadratik yang berpengaruh nyata terhadap respon berat jenis. Pada nilai simpangan model (*lack of fit*) untuk respon rendemen menunjukkan nilai p sebesar 0.0561 yang berarti $p > 0.05$ dengan keterangan *not significant*, menunjukkan bahwa model sesuai dengan tren atau plot dari model *Quadratic*. Menurut Gasperz (1995), kriteria utama ketepatan model adalah berdasarkan pengujian *Lack of Fit test*. Hal ini karena suatu model dianggap tepat jika diuji ketidaktepatan model bersifat tidak nyata atau tidak signifikan secara statistik dan dianggap tidak tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari suatu analisis yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat nyata atau signifikan.

Nilai R^2 (koefisien determasi) pada **Lampiran 7**. diperoleh nilai sebesar 0.8096, dimana menunjukkan bahwa faktor yang diteliti berpengaruh terhadap respon rendemen sebesar 80.96 % sisanya sebesar 19.04% dipengaruhi faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Nilai R (*Adj R-Squared*) pada ANOVA menunjukkan nilai sebesar 0.6382. yang berarti bahwa adanya korelasi sebesar 63.82%. Korelasi positif yaitu apabila nilai X besar maka diikuti dengan nilai Y yang besar pula, sedangkan apabila nilai X kecil maka diikuti pula dengan nilai Y yang kecil. Persamaan regresi model *Quadratic* dari respon Y_1 (rendemen) yang dipengaruhi lama destilasi (X_1), frekuensi (X_2), dan tegangan (X_3) adalah sebagai berikut:

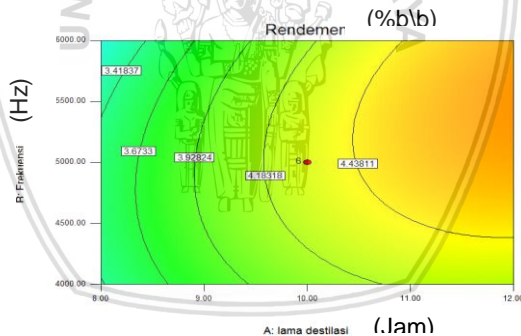
$$Y_1 = -13.95352 + 1.25417 X_1 + 1.84425 \cdot 10^{-3} X_2 + 2.45929 \cdot 10^{-3} X_3 \\ + 8.12500 \cdot 10^{-5} X_1 X_2 - 2.50000 \cdot 10^{-5} X_1 X_3 - 1.05000 \cdot 10^{-7} X_2 X_3 - \\ 0.062388 X_1^2 - 2.08895 \cdot 10^{-3} X_2^2 - 1.80611 \cdot 10^{-3} X_3^2$$

Pada optimasi permukaan respon terhadap rendemen, parameter yang paling berpengaruh adalah lama destilasi (X_1) dengan nilai koefisien β_1 sebesar 1.25417 kemudian parameter Frekuensi (X_2) dengan nilai koefisien β_2 sebesar $1.84425 \cdot 10^{-3}$ dan parameter tegangan (X_3) dengan nilai koefisien β_3 sebesar $2.45929 \cdot 10^{-3}$. Persamaan tersebut merupakan persamaan aktual yang diperlukan untuk mengetahui respon rendemen yang akan didapatkan jika nilai variabel yang diperlakukan berbeda. Persamaan tersebut juga dapat digunakan untuk

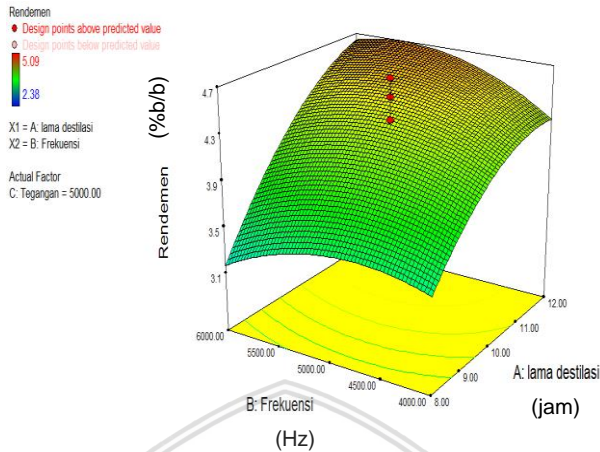
memprediksi respon yang mungkin diperoleh dengan berbagai taraf proporsi.

4.3.2.1.2 Pengaruh Tegangan, Frekuensi dan Lama Destilasi Terhadap Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala

Penerapan aplikasi PEF sebagai perlakuan awal untuk meningkatkan porositas/ merusak dinding sel dapat meningkatkan hasil minyak saat destilasi. Menurut (Jiahui, *et. al.*, 2009) pemberian perlakuan PEF pada bahan yang berasal dari tanaman, kerusakan komponen sel lebih kecil sehingga dapat digunakan untuk mempermudah proses ekstraksi komponen sel. Potensial transmembran akan menurun dengan meningkatnya frekuensi dan tegangan listrik eksternal. Begitu pula dengan lama waktu destilasi, semakin lama waktu penyulingan (destilasi) maka rendemen yang diperoleh juga semakin tinggi. Adapun hubungan antara lama destilasi, frekuensi dan tegangan terhadap respon rendemen ditunjukkan pada **Gambar 4.3** dan **Gambar 4.4**.



Gambar 4.3 Kontur Plot Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala



Gambar 4.4 Kurva Permukaan Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Rendemen Minyak Atsiri Biji Pala

Gambar 4.3 untuk sumbu x dan sumbu y menunjukkan variabel yang di optimasi. Sumbu x menunjukkan variabel lama destilasi (jam) sedangkan sumbu y menunjukkan variabel frekuensi (Hz). Garis-garis yang ada dalam kontur plot menunjukkan respon. Garis yang terluar menunjukkan nilai respon terendah dan semakin ke dalam makin garis menunjukkan nilai respon yang paling tinggi. Adapun nilai respon yang optimal pada kontur plot akan ditandai dengan adanya bendera (*flag*) atau ditunjukkan dengan adanya titik (*node*) pada kontur tersebut. Pada kontur tersebut menunjukkan semakin mendekati area yang memiliki warna kuning ke orange maka nilai optimasi dikatakan semakin baik dan apabila nilai respon semakin dekat dengan daerah yang berwarna merah maka titik tersebut memiliki nilai respon yang semakin tinggi. Respon optimal dari rendemen minyak atsiri biji pala dalam kontur tersebut menunjukkan nilai dikisaran antara 4.18318-4.43811%. Pada **Gambar 4.4** menunjukkan kurva permukaan respon untuk faktor lama destilasi, frekuensi dan tegangan terhadap respon rendemen. Berdasarkan kurva

tersebut dapat diketahui bahwa titik respon optimal yang diujikan pada penelitian ini berada pada titik tengah atau pusat range penelitian. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa hanya faktor A-lama destilasi berpengaruh secara signifikan terhadap respon rendemen. Dalam grafik juga menunjukkan model *Quadratic* dimana kondisi optimum ada dipuncak dan setelahnya akan terjadi penurunan respon berdasarkan ketiga faktor yang digunakan. Hal ini dikarenakan adanya kondisi proses yang jenuh dan sudah tidak dapat mengeluarkan minyak.

Hal ini juga sesuai dengan pernyataan Kulshrestha (2003), bahwa semakin tinggi frekuensi PEF dapat merusak jaringan sel pada tumbuhan, semakin tinggi frekuensi juga dapat menyebabkan semakin rapat gelombang tegangan listrik yang dihasilkan sehingga mengakibatkan adanya kerusakan sel di jaringan, kerusakan sel terlihat adanya pembentukan pori-pori yang melebar. Pembentukan pori yang melebar disebabkan proses elektroporasi pada membran sel oleh muatan medan listrik. Namun disisi lain, apabila kuat medan listrik yang diberikan melebihi batas kondisi optimal yang diperoleh maka minyak diduga menguap karena medan listrik yang bekerja terlalu kuat dan energinya besar. Hal ini menyebabkan jumlah minyak yang diperoleh berkurang karena sifat dari minyak atsiri yang *volatile* (mudah menguap) sehingga rendemen yang dihasilkan cenderung mengalami penurunan. Sebaliknya apabila kuat medan listrik kurang dari kondisi optimal maka medan listrik yang bekerja belum cukup kuat untuk merusak membran sel.

Semakin lama waktu ekstraksi yang diterapkan maka semakin besar rendemen yang dihasilkan. Hal ini disebabkan lama waktu ekstraksi pada proses ekstraksi menyebabkan kontak permukaan bahan baku dengan pelarut semakin luas dan lama sehingga kemampuan melarutkan komponen minyak atsiri lebih kuat dan komponen minyak atsiri yang terekstrak semakin meningkat. Hal ini seperti yang dijelaskan oleh Suyanti dkk (2005), lama waktu ekstraksi terkait dengan kontak atau difusi antara larutan pengestrak dengan bahan baku. Semakin lama kontak pelarut dan bahan tersebut akan diperoleh

rendemen yang semakin banyak. Wibowo dan Sudi (2004) menegaskan bahwa lamanya waktu proses ekstraksi sangat berpengaruh terhadap minyak yang dihasilkan.

4.3.2.2.1 Analisa Ragam (ANOVA) Respon Indeks Bias

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan *Design Expert 7.1.5* model proses yang terpilih adalah model 2FI. Hasil analisa ragam (ANOVA) untuk respon indeks bias yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.14**.

Tabel 4.14 Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Respon Indeks Bias

Sumber Keragaman	Jumlah Kuadrat	Derajat Bebas	Kuadrat Tengah	Nilai F	Nilai P Prob>F	Keterangan
Model	1.164E-005	6	1.940E-006	3.76	0.0215	<i>Significant</i>
A	2.823E-006	1	2.823E-006	5.48	0.0359	<i>Significant</i>
B	7.796E-008	1	7.796E-008	0.15	0.7037	<i>Not Significant</i>
C	1.577E-006	1	1.577E-006	3.06	0.1039	<i>Not Significant</i>
AB	4.050E-007	1	4.050E-007	0.79	0.3916	<i>Not Significant</i>
AC	3.380E-006	1	3.380E-006	6.56	0.0237	<i>Significant</i>
BC	3.380E-006	1	3.380E-006	6.56	0.0237	<i>Significant</i>
Residual	6.703E-006	13	5.156E-007			
Lack of Fit	4.134E-006	8	5.168E-007	1.01	0.5223	<i>Not Significant</i>
Pure Error	2.568E-006	5	5.137E-007			
Cor Total	1.835E-005	19				

Keterangan :

A = Variabel X_1 (lama destilasi)

B = Variabel X_2 (frekuensi)

C = Variabel X_3 (tegangan)

Berdasarkan hasil nilai ANOVA pada **Tabel 4.14** diketahui bahwa model dan faktor A-lama destilasi menunjukkan nilai yang signifikan $p < 0.05$, sedangkan faktor B-frekuensi dan faktor

C-tegangan menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p>0.05$) yang berarti bahwa faktor frekuensi dan tegangan tidak berpengaruh secara nyata atau signifikan terhadap respon indeks bias melainkan hanya faktor lama destilasi yang berpengaruh nyata terhadap respon indeks bias. Pada hubungan antar faktor A-lama destilasi dan B-frekuensi menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p>0.05$) yang berarti interaksi antara faktor A-lama destilasi dan B-frekuensi tidak berpengaruh secara nyata atau signifikan terhadap respon indeks bias sedangkan interaksi antar faktor A-lama destilasi C-tegangan dan B-frekuensi C-tegangan menunjukkan nilai yang signifikan ($p<0.05$) yang berarti bahwa interaksi antara faktor A-lama destilasi dan C-tegangan dan B-frekuensi dan C-tegangan berpengaruh secara nyata terhadap respon indeks bias. Menurut Widhiarso (2011) bahwa interaksi menunjukkan tren atau pola untuk tiap faktor yang diuji memiliki interaksi atau tidak. Pada nilai simpangan model (*lack of fit*) untuk respon indeks bias menunjukkan nilai p sebesar 0.5233 yang berarti $p>0.05$ dengan keterangan *not significant*, menunjukkan bahwa model sesuai dengan tren atau plot dari model 2FI. Menurut Gasperz (1995), kriteria utama ketepatan model adalah berdasarkan pengujian *Lack of Fit test*. Hal ini karena suatu model dianggap tepat jika diuji ketidaktepatan model bersifat tidak nyata atau tidak signifikan secara statistik dan dianggap tidak tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari suatu analisis yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat nyata atau signifikan.

Nilai R^2 (koefisien determasi) pada **Lampiran 8**. diperoleh nilai sebesar 0.6347 dimana menunjukkan faktor yang diteliti berpengaruh terhadap respon indeks bias sebesar 63.47% sisanya sebesar 36,53% dipengaruhi faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Nilai R (*Adj R-Squared*) pada ANOVA menunjukkan nilai sebesar 0.4660 yang berarti bahwa adanya korelasi sebesar 46.60%. Korelasi positif yaitu apabila nilai X besar maka diikuti dengan nilai Y yang besar pula, sedangkan apabila nilai X kecil maka diikuti pula dengan nilai Y yang kecil. Persamaan regresi model 2FI dari respon Y_2 (Indeks

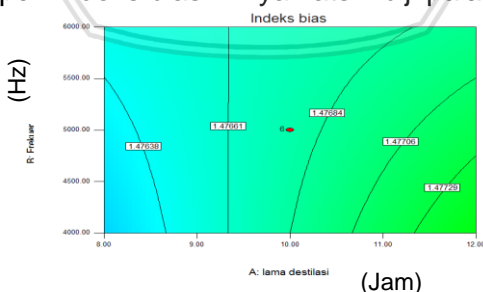
bias) yang dipengaruhi lama destilasi (X_1), frekuensi (X_2), dan tegangan (X_3) adalah sebagai berikut:

$$Y_2 = 1.46750 - 8.35175 \cdot 10^{-4}X_1 + 4.29945 \cdot 10^{-6}X_2 + 3.39822 \cdot 10^{-7}X_3 - 1.12500 \cdot 10^{-7}X_1X_2 + 3.25000 \cdot 10^{-7}X_1X_3 - 6.50000 \cdot 10^{-10}X_2X_3$$

Pada optimasi permukaan respon terhadap indeks bias, parameter yang paling berpengaruh adalah frekuensi (X_2) dengan nilai koefisien β_2 sebesar $4.29945 \cdot 10^{-6}$ kemudian parameter tegangan (X_3) dengan nilai koefisien β_3 sebesar $3.39822 \cdot 10^{-7}$ dan parameter lama destilasi (X_1) dengan nilai koefisien β_1 sebesar $8.35175 \cdot 10^{-4}$. Persamaan tersebut merupakan persamaan aktual yang diperlukan untuk mengetahui respon indeks bias yang akan didapatkan jika nilai variabel yang diperlakukan berbeda. Persamaan tersebut juga dapat digunakan untuk memprediksi respon yang mungkin diperoleh dengan berbagai taraf proporsi.

4.3.2.2 Pengaruh Tegangan, Frekuensi dan Lama Destilasi Terhadap Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala

Nilai Indeks bias minyak atsiri biji pala dipengaruhi oleh hasil rendemen yang didapatkan. Menurut (Nugraheni dkk, 2016), nilai indeks bias salah satunya dapat dipengaruhi dengan adanya air dalam kandungan minyak atsiri tersebut. Semakin banyak kandungan airnya, maka semakin kecil nilai indeks biasnya. Pada **Gambar 4.5** dan **Gambar 4.6** menunjukkan hubungan antara lama destilasi, frekuensi dan tegangan PEF terhadap respon indeks bias minyak atsiri biji pala.



Gambar 4.5 Kontur Plot Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala.

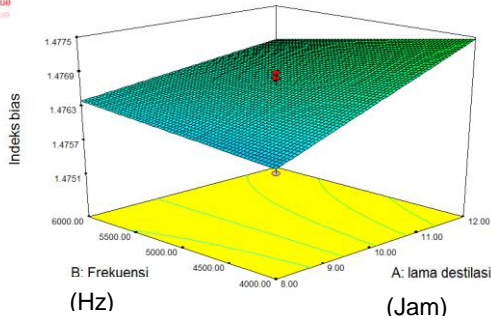
Design-Expert® Software

Indeks bias
 ● Design points above predicted value
 ○ Design points below predicted value
 1.4801
 1.4751

X1 = A: lama destilasi

X2 = B: Frekuensi

Actual Factor
 C: Tegangan = 5000.00



Gambar 4.6 Kurva Permukaan Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Indeks Bias Minyak Atsiri Biji Pala

Gambar 4.5 untuk sumbu x dan sumbu y menunjukkan variabel yang di optimasi. Sumbu x menunjukkan variabel lama destilasi (jam) sedangkan sumbu y menunjukkan variabel frekuensi (Hz). Garis-garis yang ada dalam kontur plot menunjukkan respon. Garis yang terluar menunjukkan nilai respon terendah dan semakin ke dalam makin garis menunjukkan nilai respon yang paling tinggi. Adapun nilai respon yang optimal pada kontur plot akan ditandai dengan adanya bendera (*flag*) atau ditunjukkan dengan adanya titik (*node*) pada kontur tersebut. Pada kontur juga menunjukkan semakin mendekati area yang memiliki warna hijau maka nilai optimasi baik. Respon optimal dari indeks bias minyak atsiri biji pala dalam kontur menunjukkan nilai dikisaran antara 1.47611-1.47684. Pada **Gambar 4.6** menunjukkan kurva permukaan respon untuk faktor lama destilasi, frekuensi dan tegangan terhadap respon indeks bias. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa hanya faktor lama destilasi, interaksi antar faktor frekuensi dan tegangan, dan interaksi antar faktor lama destilasi dan tegangan yang berpengaruh secara signifikan terhadap respon indeks bias. Berdasarkan kurva tersebut juga dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya lama destilasi, frekuensi dan tegangan maka respon indeks bias minyak atsiri juga semakin tinggi meskipun peningkatan yang terjadi tidak

signifikan. Peningkatan frekuensi akan mempengaruhi ukuran elektroporasi membran sel yang menyebabkan pori-pori yang terbentuk semakin besar dan pelarut akan lebih mudah menjangkau bagian dalam jaringan Pataro *et. al.* (2011). Hal tersebut akan membuat komponen kimia yang terdestilasi semakin meningkat dan menambah kerapatan minyak yang mempengaruhi nilai indeks bias. Menurut Syauqiah dkk. (2008), hal ini disebabkan oleh semakin lama penyulingan, maka semakin banyak komponen dalam biji pala yang mempunyai titik didih tinggi ikut tersuling yaitu senyawa-senyawa *sesquiterpena*. Menurut Hidayati dkk. (2015), nilai indeks bias minyak biji pala dipengaruhi oleh komposisi fraksi ringan yang terdiri dari senyawa *hidrokarbon monoterpena* ($C_{10}H_{16}$) dan fraksi berat yang terdiri dari *monoterpena teroksigenasi (terpenoid)* dan *hidrokarbon sesquiterpena (terpen)* ($C_{15}H_{12}$). Semakin banyak komposisi fraksi berat, maka kerapatan minyak akan semakin tinggi dan densitas minyak semakin besar. Jika kerapatan minyak meningkat, maka sinar yang menembus minyak akan dibiaskan mendekati garis normal dan nilai indeks bias minyak semakin tinggi.

Indeks bias merupakan salah satu parameter kualitas dari minyak atsiri biji pala. Semakin tinggi nilai indeks bias menunjukkan kualitas minyak yang bagus dengan tingkat kemurnian yang tinggi. Menurut Armando (2009) indeks bias dipengaruhi oleh kerapatan minyak, semakin tinggi kerapatan minyak maka akan semakin tinggi juga nilai indeks bias dari minyak tersebut. Oleh karena itu indeks bias adalah kriteria yang penting untuk mengetahui baku mutu dan tingkat kemurnian minyak atsiri.

4.3.2.3.1 Analisa Ragam (ANOVA) Respon Berat Jenis

Berdasarkan hasil pengolahan data dengan menggunakan *Design Expert 7.1.5* model proses yang terpilih adalah model *Quadratic*. Hasil analisa ragam (ANOVA) untuk respon berat jenis yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 4.15**.

Tabel 4.15 Hasil Analisis Ragam (ANOVA) Respon Berat Jenis

Sumber Keraga- Man	Jumlah Kuadrat	Dera jat Bebas	Kuadrat Tengah	Nilai F	Nilai P Prob>F	Keterangan
Model	1.723E-003	9	1.914E-004	5.14	0.0087	<i>Significant</i>
A	5.122E-004	1	5.122E-004	13.76	0.0040	<i>Significant</i>
B	1.605E-004	1	1.605E-004	4.31	0.0645	<i>Not Significant</i>
C	7.322E-006	1	7.322E-006	0.20	0.6668	<i>Not Significant</i>
AB	1.125E-004	1	1.125E-004	3.02	0.1127	<i>Not Significant</i>
AC	1.250E-005	1	1.250E-005	0.34	0.5750	<i>Not significant</i>
BC	3.125E-004	1	3.125E-004	8.40	0.0159	<i>Significant</i>
A ²	5.430E-005	1	5.430E-005	1.46	0.2549	<i>Not significant</i>
B ²	1.629E-004	1	1.629E-004	4.38	0.0629	<i>Not Significant</i>
C ²	3.793E-004	1	3.793E-004	10.19	0.0096	<i>Significant</i>
<i>Residual</i>	3.721E-004	10	3.721E-005			
<i>Lack of Fit</i>	2.214E-004	5	4.427E-006	0.063	0.9956	<i>Not significant</i>
<i>Pure Error</i>	3.500E-005	5	7.000E-005			
<i>Cor Total</i>	2.095E-003	19				

Keterangan :

A = Variabel X₁ (lama destilasi)

B = Variabel X₂ (frekuensi)

C = Variabel X₃ (tegangan)

Berdasarkan hasil nilai ANOVA pada **Tabel 4.15** diketahui bahwa model dan A-lama destilasi menunjukkan nilai yang signifikan ($p < 0.05$), sedangkan B-frekuensi, C-tegangan, menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p > 0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa hanya faktor A-lama destilasi berpengaruh secara nyata atau signifikan terhadap respon berat jenis. Pada

interaksi antara faktor A-lama destilasi B-frekuensi dan A-lama destilasi C-tegangan menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p>0.05$) sedangkan interaksi antara faktor B-frekuensi C-tegangan menunjukkan nilai yang signifikan ($p<0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa hanya interaksi antar faktor B-frekuensi dan C-tegangan yang berpengaruh secara nyata terhadap respon berat jenis. Pada faktor A-lama destilasi, B-frekuensi secara kuadratik menunjukkan nilai yang tidak signifikan ($p>0.05$) sedangkan pada faktor C-tegangan secara kuadratik menunjukkan nilai yang signifikan ($p<0.05$). Hal ini menunjukkan bahwa hanya faktor tegangan secara kuadratik yang berpengaruh nyata terhadap respon berat jenis. Pada nilai simpangan model (*lack of fit*) untuk respon berat jenis menunjukkan nilai p sebesar 0.9956 yang berarti $p>0.05$ dengan keterangan *not significant*, menunjukkan bahwa model sesuai dengan tren atau plot dari model kudratik. Menurut Gasperz (1995), kriteria utama ketepatan model adalah berdasarkan pengujian *Lack of Fit test*. Hal ini karena suatu model dianggap tepat jika diuji ketidaktepatan model bersifat tidak nyata atau tidak signifikan secara statistik dan dianggap tidak tepat untuk menjelaskan suatu permasalahan dari suatu analisis yang dikaji jika ketidaktepatan dari model bersifat nyata atau signifikan.

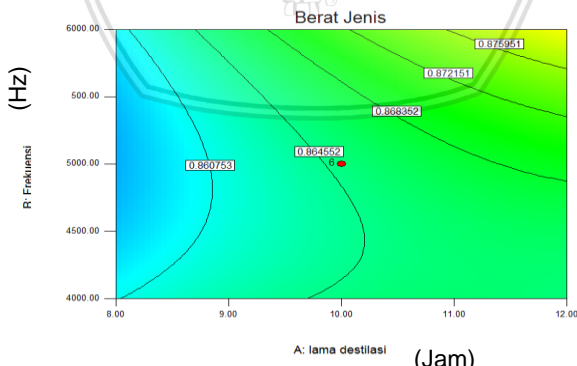
Nilai R^2 (koefisien determasi) pada **Lampiran 9**. diperoleh nilai sebesar 0.8224 dimana menunjukkan bahwa faktor yang diteliti berpengaruh terhadap respon berat jenis sebesar 82.24 % sedangkan sisanya sebesar 17,76% dipengaruhi faktor lain yang tidak dimasukkan dalam model. Nilai R (*Adj R-Squared*) pada ANOVA menunjukkan nilai sebesar 0.6625 yang berarti bahwa adanya korelasi sebesar 66.25%. Korelasi positif yaitu apabila nilai X besar maka diikuti dengan nilai Y yang besar pula, sedangkan apabila nilai X Kecil maka diikuti pula dengan nilai Y yang kecil. Persamaan regresi model *Quadratic* dari respon Y_3 (berat jenis) yang dipengaruhi lama destilasi (X_1), frekuensi (X_2), dan tegangan (X_3) adalah sebagai berikut:

$$Y_3 = 0.94614 + 2.67207 \cdot 10^{-4} X_1 - 1.76945 \cdot 10^{-5} X_2 - 2.55681 \cdot 10^{-5} X_3 + 1.87500 \cdot 10^{-6} X_1 \cdot X_2 + 6.25000 \cdot 10^{-7} X_1 X_3 - 6.25000 \cdot 10^{-9} X_2 X_3 - 4.85258 \cdot 10^{-4} X_1^2 + 3.36227 \cdot 10^{-9} X_2^2 + 5.13004 \cdot 10^{-9} X_3^2$$

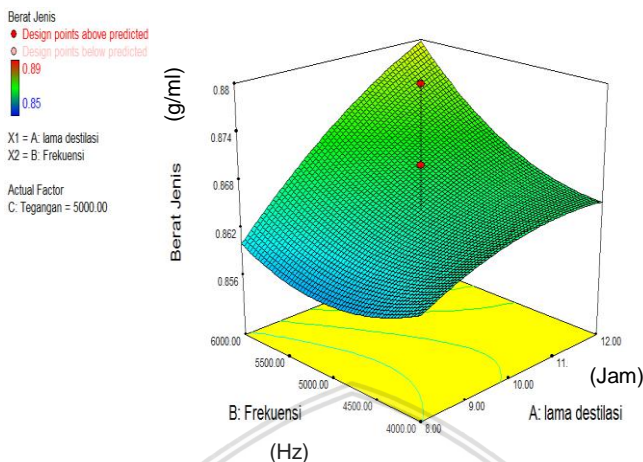
Pada optimasi permukaan respon terhadap berat jenis, parameter yang paling berpengaruh adalah lama destilasi (X_1) dengan nilai koefisien β_1 sebesar $2.67207 \cdot 10^{-4}$ kemudian parameter frekuensi (X_2) dengan nilai koefisien β_2 sebesar $1.76945 \cdot 10^{-5}$ dan parameter tegangan (X_3) dengan nilai koefisien β_3 sebesar $2.55681 \cdot 10^{-5}$. Persamaan tersebut merupakan persamaan aktual yang diperlukan untuk mengetahui respon berat jenis yang akan didapatkan jika nilai variabel yang diperlakukan berbeda. Persamaan tersebut juga dapat digunakan untuk memprediksi respon yang mungkin diperoleh dengan berbagai taraf proporsi.

4.3.2.3.2 Pengaruh Tegangan, Frekuensi dan Lama Destilasi Terhadap Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala

Berat jenis merupakan salah satu kriteria penting yang menentukan kualitas dan kemurnian minyak atsiri. Pada minyak atsiri biji pala nilai berat jenis yang menjadi standar adalah pada suhu 20°C . Nilai berat jenis dinyatakan dalam satuan g/ml. Pada **Gambar 4.7** dan **Gambar 4.8** menunjukkan hubungan antara lama destilasi, frekuensi dan tegangan PEF terhadap respon berat jenis minyak atsiri biji pala. hasil berat jenis yang didapatkan dipengaruhi oleh hasil rendemen yang didapatkan saat proses destilasi berlangsung. Nilai berat jenis juga dipengaruhi oleh meningkatnya rendemen yang didapatkan.



Gambar 4.7 Kontur Plot Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala



Gambar 4.8 Kurva Permukaan Respon Lama Destilasi, Frekuensi dan Tegangan terhadap Respon Berat Jenis Minyak Atsiri Biji Pala

Gambar 4.7 untuk sumbu x dan sumbu y menunjukkan variabel yang di optimasi. Sumbu x menunjukkan variabel lama destilasi (jam) sedangkan sumbu y menunjukkan variabel frekuensi (Hz). Garis-garis yang ada dalam kontur plot menunjukkan respon. Garis yang terluar menunjukkan nilai respon terendah dan semakin ke dalam makin garis menunjukkan nilai respon yang paling tinggi. Adapun nilai respon yang optimal pada kontur plot akan ditandai dengan adanya bendera (*flag*) atau ditunjukkan dengan adanya titik (*node*) pada kontur tersebut. Pada kontur menunjukkan semakin mendekati area yang memiliki warna hijau ke kuningan maka nilai optimasi semakin baik. Respon optimal dari berat jenis minyak atsiri biji pala dalam kontur menunjukkan nilai dikisaran antara 0,864552-0.868352. Pada **Gambar 4.4** menunjukkan kurva permukaan respon untuk faktor lama destilasi, frekuensi dan tegangan terhadap respon berat jenis. Berdasarkan kurva tersebut dapat diketahui bahwa titik respon optimal yang diujikan pada penelitian ini berada pada titik tengah atau pusat range penelitian. Pada kurva tersebut menunjukkan bahwa hanya faktor A-lama destilasi, interaksi

antar faktor BC-frekuensi dan tegangan, dan C^2 - tegangan secara kuadratik berpengaruh secara signifikan terhadap respon berat jenis. Dalam grafik juga menunjukkan model *Quadratic* dimana kondisi optimum ada dipuncak dan setelahnya akan terjadi penurunan respon berdasarkan ketiga faktor yang digunakan. Hal ini dikarenakan adanya kondisi proses yang jenuh dan sudah tidak dapat mengeluarkan minyak.

Menurut Pataro *et. al.* (2011), peningkatan frekuensi akan mempengaruhi ukuran elektroporasi membran sel yang menyebabkan pori-pori yang terbentuk semakin besar dan pelarut akan lebih mudah menjangkau bagain dalam jaringan. Hal tersebut dapat membuat membuat komponen kimia yang terdestilasi semakin meningkat. Diduga komponen yang meningkat tersebut merupakan komponen yang memiliki molekul berantai panjang sehingga berat jenis minyak meningkat. Menurut Guenther (1987) pada umumnya minyak atsiri yang mengandung molekul berantai panjang dan banyak ikatan rangkap memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi.

Nilai berat jenis merupakan perbandingan antara berat minyak dengan berat air pada volume yang sama dengan volume minyak. Menurut Syauqiah dkk. (2008), semakin tinggi berat jenis dari minyak tersebut, maka mutu dari minyak tersebut akan semakin baik. Menurut Badan Standarisasi Nasional (BSN) No 2388-2006 nilai berat jenis minyak atsiri biji pala berkisar antara 0.885-0.907. Menurut Guenther (1990), berat jenis minyak atsiri dipengaruhi juga oleh komponen mayor dan komponen minor. Tidak hanya komponen mayor yang diamati, tetapi komponen minor juga dapat menentukan mutu dan berat jenis minyak atsiri.

4.4 Optimasi Respon Nilai Rendemen, Indeks Bias, dan Berat Jenis pada Desain Komposit Terpusat

Proses optimasi merupakan proses yang dilakukan untuk mendapatkan *setting* taraf faktor percobaan yang menghasilkan respon optimal. Tujuan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan nilai respon rendemen, indeks bias dan berat jenis dalam batas pengaruh lama destilasi, frekuensi dan tegangan PEF pada daerah percobaan yang lebih luas dengan

batasan-batasan yang ditentukan sesuai tujuan yang di harapkan. Batasan optimasi untuk respon penelitian dapat dilihat pada **Tabel 4.16**.

Nilai ideal pada rendemen dipilih yang maksimal, karena semakin banyak rendemen semakin meningkat efesiensi prosesnya. Nilai ideal pada indeks bias dipilih *in range* dikarenakan hasil pada penelitian sudah sesuai standar SNI. Nilai ideal pada berat jenis dipilih yang maksimal dikarenakan nilai berat jenis minyak atsiri pada penelitian masih dibawah SNI sehingga nilai paling maksimal adalah nilai yang semakin mendekati kualitas standar.

Tabel 4.16 Batas Optimasi untuk Respon Penelitian

Kriteria	Nama (Satuan)	Target	Batas Bawah	Batas Atas
Faktor	Lama destilasi (jam)	<i>In Range</i>	8	12
Faktor	Frekuensi (Hz)	<i>In Range</i>	4000	6000
Faktor	Tegangan (volt)	<i>In Range</i>	4000	6000
Respon	Rendemen (%b/b)	<i>Maximize</i>	2.38	5.09
Respon	Indeks bias	<i>In Range</i>	1.4751	1.4801
Respon	Berat Jenis (g/ml)	<i>Maximize</i>	0.85	0.89

Berdasarkan batasan-batasan yang ditentukan pada **Tabel 4.16.**, maka diperoleh solusi optimal hasil komputasi dengan aplikasi *Design Expert 7.1.5* yang ditunjukkan pada **Tabel 4.17**.

Tabel 4.17 Solusi Titik Optimum Terpilih Hasil Perhitungan *Design Expert 7.1.5*

Parameter	Standar Prediksi
Lama Destilasi (jam)	12
Frekuensi (Hz)	6000
Tegangan (Volt)	4000
Rendemen (%b/b)	4.73524
Indeks Bias	1.47653
Berat Jenis (g/ml)	0.889148
Desirability	0.922
Keterangan	<i>Selected</i>

Tabel 4.17 menunjukkan bahwa perlakuan optimal menggunakan lama destilasi 12 jam, frekuensi PEF sebesar 6000 Hz dan Tegangan PEF sebesar 4000, menghasilkan prediksi respon rendemen 4.73524%, indeks bias 1.47653 dan berat jenis 0.889148 g/ml dengan ketepatan/*desirability* 0.922 atau 92,2%. Nilai *desirability* merupakan nilai fungsi tujuan optimasi yang menunjukkan kemampuan program untuk memenuhi keinginan berdasarkan kriteria yang ditetapkan pada produk akhir. Kisaran nilainya dari 0 sampai 1. Nilai *desirability* yang semakin mendekati nilai 1 menunjukkan kemampuan program untuk menghasilkan produk yang dikehendaki semakin sempurna (Nurmiah, *et. al.*, 2013).

Hasil perkiraan dari respon minyak atsiri biji pala yang dihasilkan sesuai dengan standar kualitas yang ada sehingga solusi optimum yang diverifikasi adalah hasil komputasi terhadap data dengan batasan berdasarkan standar. Nilai titik optimum yang didapatkan dilihat nilai penyimpangan yang mungkin terjadi. Hasil prediksi solusi optimum dan minimum dapat dilihat pada **Tabel 4.18**.

Tabel 4.18 Prediksi Solusi Optimum dan Minimum

Parameter	Prediksi	SE Pred	Prediksi Terendah	Prediksi Tertinggi
Rendemen (%b/b)	4.73524	0.51	3.59	5.88
Indeks bias	1.47653	$9.208.10^{-4}$	1.47	1.48
Berat Jenis (g/ml)	0.889148	$7.883.10^{-3}$	0.87	0.91

Tabel 4.18 menunjukkan nilai prediksi terendah respon rendemen sebesar 3.59%, indeks bias sebesar 1.47 dan berat jenis 0.87. Nilai prediksi tertinggi respon rendemen sebesar 5.88%, indeks bias sebesar 1.48 dan berat jenis 0.91. Nilai optimum respon rendemen, frekuensi dan tegangan PEF berada diantara nilai prediksi terendah dan tertinggi yang dijadikan sebagai batasan hasil verifikasi.

4.5 Verifikasi Kondisi Optimum Hasil Prediksi Model

Berdasarkan pada solusi optimal yang didapatkan dari program *Design Expert* 7.1.5, kondisi terbaik ada pada lama

destilasi 12 jam, frekuensi sebesar 6000 Hz dan tegangan sebesar 4000 volt seperti pada **Tabel 4.17** sebelumnya, kemudian perlakuan optimal tersebut dilakukan verifikasi. Verifikasi dilakukan untuk memastikan kondisi optimal yang disarankan pada hasil komputasi memiliki respon sama pada penelitian skala laboratorium. Jika nilai respon yang ditunjukkan berbeda, maka nilai respon hasil penelitian dibandingkan dengan nilai respon yang diperoleh dari hasil komputasi dan dapat diketahui seberapa besar simpangan masing-masing respon. Adapun perbandingan hasil percobaan dengan hasil komputasi dapat dilihat pada **Tabel 4.19**.

Tabel 4.19 Nilai Prediksi dan Hasil Penelitian

Parameter	Prediksi Terendah	Prediksi si	Prediksi Tertinggi	Hasil Verifikasi	Selisih	Akurasi
Rendemen (%b/b)	3.59	4.73524	5.88	4,6685	0,06674	98,59%
Indeks Bias	1.47	1.47653	1.48	1,47785	0,00132	100,08%
Berat Jenis (g/ml)	0.87	0.889148	0.91	0.8895	0,00035	100,04%

Berdasarkan **Tabel 4.19** hasil verifikasi didapatkan nilai respon rendemen, indeks bias dan berat jenis berturut-turut sebesar 4.6685, 1.47785 dan 0.8895 sedangkan dari perhitungan program *Design Expert* respon rendemen, indeks bias dan berat jenis berturut-turut sebesar 4.73524, 1.47653 dan 0.889148 dengan nilai simpangan berturut-turut sebesar 1,42988%, 0.08965%, 0,04496%. Hasil perbandingan tersebut menunjukkan bahwa selisih prediksi verifikasi lebih kecil dari 5% yang berarti nilai verifikasi sudah sesuai dengan nilai prediksi program. Hal ini diperkuat oleh pernyataan Wu *et. al.* (2006) bahwa perbedaan nilai prediksi dan nilai penelitian tidak lebih dari 5% mengindikasikan bahwa model tersebut cukup tepat untuk proses dengan demikian selisih nilai tidak terlalu signifikan dan solusi variabel bebas yang diberikan program *Design Expert* dapat diterima. Hasil verifikasi respon rendemen juga

menunjukkan tingkat akurasi sebesar 98,59% (4.6685%) minyak biji pala mendekati nilai prediksi (4.73524 %) sedangkan hasil verifikasi respon indeks bias dan berat jenis menunjukkan tingkat akurasi sebesar (100,08% dan 100,04%). Berdasarkan ketiga respon menghasilkan korelasi yang sangat baik antara nilai yang diprediksi dan hasil verifikasi. Hal ini menunjukkan validitas model respon yang dihasilkan tepat. Hasil nilai aktual dengan nilai PI (*Prediction Interval*) yang menunjukkan bahwa nilai aktual masih masuk dalam rentang 95% *PI Low* dan 95% *PI High* membuktikan bahwa formula optimum dengan nilai desirability tertinggi memiliki hasil pengujian yang sesuai dengan prediksi yang direkomendasikan oleh program.

Data hasil verifikasi dan prediksi dari program juga dianalisis menggunakan Uji-T, yang mana hasil pengujian dapat dilihat pada **Lampiran 13**. Berdasarkan hasil analisis statistik, dapat diketahui bahwa hasil verifikasi rendemen berbeda nyata atau berpengaruh secara signifikan terhadap hasil prediksi program pada selang kepercayaan 95% (nilai sig 2-tailed (0,005) < 0,025). Pada hasil verifikasi indeks bias terhadap hasil prediksi program, nilai sig 2-tailed (uji dua sisi) tidak terdeteksi dikarenakan nilai standar deviasi sama dengan 0 (setiap ulangan memiliki nilai yang sama). Hal tersebut menandakan nilai indeks bias hasil verifikasi dan prediksi bersifat konstan atau tidak berbeda nyata. Hasil tersebut juga berlaku terhadap hasil verifikasi dan prediksi program pada berat jenis.

4.6 Perbandingan Perlakuan Optimum dan Kontrol

Perlakuan terbaik penelitian ini didapatkan dari hasil verifikasi optimasi *Respon Surface Methodology* pada perlakuan lama destilasi 12 jam, frekuensi PEF 6000 Hz, dan tegangan 4000 volt. Hasil tersebut kemudian di analisa secara fisik dan kimia komposisi minyak pala yang diperoleh kemudian dibandingkan dengan kontrol dan literatur. Perbandingan perlakuan terbaik dan kontrol dapat dilihat pada **Tabel 4.20**.

Tabel 4.20 Perbandingan Perlakuan Terbaik dan Perlakuan Kontrol

Karakterisasi	Perlakuan terbaik (6000 Hz, 4000 Volt, 12 jam)	Perlakuan kontrol (tanpa PEF)	SNI 2388- 2006 dan ISO 3215- 1998	Presentase
Rendemen (%b/b)	4,6685%b/b	3,84%b/b		+21,57%
Indeks bias	1,47785	1,476	1,475- 1,485	+ 0,125%
Berat jenis (g/ml)	0,8895 gr/ml	0,85 g/ml	0,885- 0,907	+4,46%
GCMS	24 komponen	25 komponen		
<i>α-pinene</i> %	-	-	15-28	-
<i>β-pinene</i> %	-	2,07%	13-18	- 1 %
<i>Sabinene</i> %	0,86%	-	14-29	+ 0,86%
<i>δ-3-Carene</i> %	0,32%	18,68%	0,5-2,0	- 98,28%
<i>Limonene</i> %	8,59%	13,64%	2,0-7,0	- 35,29%
<i>γ-Terpinene</i> %	21,37%	5,99%	2,0-6,0	+ 256,76%
<i>Terpineol</i> %	35,12%	-	2,0-6,0	+ 35,12%
<i>Safrole</i> %	8,07%	2,86%	1,0-2,5	+182,16%
<i>Myristisin</i> %	13,80%	9,63%	5,0-12	+ 43,30%

±)Keterangan : menunjukkan adanya kenaikan (+) dan penurunan (-) pada setiap uji yang dilakukan

Pada **Tabel 4.20** menunjukkan bahwa terdapat peningkatan pada setiap uji dengan perlakuan PEF dan kontrol, namun terjadi penurunan jumlah komponen pada minyak. Hal ini dikarenakan perbedaan rendemen minyak atsiri biji pala yang dihasilkan dimana rendemen yang dihasilkan dari perlakuan dengan PEF mampu meningkatkan rendemen sebesar 21,57% dibandingkan dengan perlakuan tanpa PEF. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan awal menggunakan PEF dapat meningkatkan rendemen pada ekstraksi minyak atsiri. Berdasarkan Penelitian yang dilakukan Nisa (2013), ekstraksi minyak melati dengan bantuan PEF sebagai perlakuan pendahuluan dengan tegangan 2000 volt, frekuensi 2200 Hz sistem *batch* dengan menggunakan waktu PEF 7 detik lebih

efektif dan mampu meningkatkan rendemen sebesar 0,97% dibandingkan dengan menggunakan metode ekstraksi konvensional. Penelitian Sukardi dkk (2017), ekstraksi minyak nilam dengan pada 2.000 volt, frekuensi 1,874 Hz, dan 8 jam distilasi rendemen yang diperoleh adalah 8.037 ml ($\pm 2,7\%$) lebih tinggi dibandingkan perlakuan tanpa PEF yang hanya menghasilkan rendemen sekitar ($\pm 1,8\%$).

Indeks bias yang dihasilkan dari perlakuan terbaik sebesar 1,47785. Indeks bias yang dihasilkan dari perlakuan kontrol (non-PEF) sebesar 1,476. Hal ini menunjukkan adanya perbedaan nilai indeks bias minyak atsiri biji pala. Berdasarkan data tersebut didapatkan perlakuan dengan PEF mampu meningkatkan indeks bias sebesar 0,125 % dibandingkan dengan perlakuan tanpa PEF. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan awal menggunakan PEF dapat meningkatkan nilai indeks bias pada minyak atsiri. Menurut Esthiagi *et. al.* (2005), PEF mampu meningkatkan kandungan senyawa penting yang terekstraksi dan dapat menggantikan proses ekstraksi konvensional.

Berat jenis yang dihasilkan dari perlakuan terbaik sebesar 0.8895 gr/ml. berat jenis yang dihasilkan dari perlakuan kontrol (non-PEF) sebesar 0,85 gr/ml. Berdasarkan data tersebut didapatkan bahwa perlakuan PEF mampu meningkatkan berat jenis sebesar 4,46% dibandingkan dengan perlakuan tanpa PEF. Hal ini menunjukkan bahwa perlakuan awal menggunakan PEF dapat meningkatkan berat jenis minyak atsiri biji pala. Diduga komponen yang meningkat tersebut merupakan komponen yang memiliki molekul berantai panjang sehingga berat jenis minyak meningkat. Menurut Guenther (1987) pada umumnya minyak atsiri yang mengandung molekul berantai panjang dan banyak ikatan rangkap memiliki nilai berat jenis yang lebih tinggi.

Komponen utama minyak atsiri biji pala yaitu *α -pinen*, *β -pinen*, *mirsen*, *sabinene*, *limonen*, *γ -terpinen*, *terpineol*, *safrrole*, dan *myristisin*. Pada perlakuan terbaik dan perlakuan kontrol (non-PEF) tidak terdapat komponen *α -pinen*. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan *α -pinen* pada perlakuan terbaik dan perlakuan kontrol tidak menunjukkan hasil yang berbeda.

Pada perlakuan terbaik tidak terdapat komponen β -pinen sedangkan pada perlakuan kontrol (non-PEF) didapatkan komponen β -pinen sebesar 2,07%. Kandungan β -pinen pada perlakuan kontrol lebih baik dibandingkan pada perlakuan terbaik karena mengalami penurunan komponen sebesar 1%. Pada perlakuan terbaik didapatkan sabinene sebesar 0,86%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF), tidak terdapat komponen sabinene. Hal ini menunjukkan bahwa kandungan sabinene pada perlakuan terbaik lebih baik dibandingkan perlakuan kontrol karena mengalami peningkatan komponen sebesar 0,86%. Pada perlakuan terbaik didapatkan δ -3-Carene sebesar 0,32%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF) sebesar 18,86% dengan selisih 18,36%. Kandungan δ -3-Carene pada perlakuan kontrol lebih baik dibandingkan pada perlakuan terbaik karena mengalami penurunan komponen sebesar 98,28%. Pada perlakuan terbaik didapatkan limonene sebesar 8,59%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF) sebesar 13,64%. Kandungan limonene pada perlakuan kontrol lebih baik dibandingkan pada perlakuan terbaik karena mengalami penurunan sebesar 35,29%. Pada perlakuan terbaik didapatkan γ -terpinene sebesar 21,37%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF) didapatkan γ -terpinene sebesar 5,99%. Kandungan γ -terpinene pada perlakuan terbaik lebih baik dibandingkan pada perlakuan kontrol karena mengalami peningkatan komponen sebesar 256,76%. Pada perlakuan terbaik didapatkan terpineol sebesar 35,12%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF), tidak terdapat komponen terpineol. Kandungan terpineol pada perlakuan terbaik lebih baik dibandingkan perlakuan kontrol karena mengalami peningkatan komponen sebesar 35,12%. Pada perlakuan terbaik didapatkan safrole sebesar 8,07%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF) sebesar 2,86%. Kandungan safrole pada perlakuan terbaik lebih baik dibandingkan pada perlakuan kontrol karena mengalami peningkatan sebesar 182,16%. Pada perlakuan terbaik didapatkan myristisin sebesar 13,80%. Pada perlakuan kontrol (non-PEF) sebesar 9,63%. Kandungan myristisin pada perlakuan terbaik lebih baik dibandingkan pada perlakuan kontrol karena mengalami peningkatan sebesar 43,30%. Dengan demikian terdapat pengaruh antara perlakuan

awal PEF dengan peningkatan komponen penyusun minyak atsiri. Pulsa tegangan tinggi yang diterapkan dapat menimbulkan suatu medan elektrik yang dapat membuat suatu sel termodifikasi pada area membran sel dan cairan sel (Fu'aida dkk, 2016). Peningkatan frekuensi dan tegangan dapat mempengaruhi ukuran elektroporasi membran sel yang menyebabkan pori-pori yang terbentuk semakin besar dan pelarut akan lebih mudah menjangkau bagain dalam jaringan menurut Pataro *et. al.* (2011). Hal tersebut membuat komponen utama yang terdestilasi semakin meningkat. Seperti pada penelitian Nisak dkk (2013), yang mana pemberian perlakuan PEF pada bunga melati dapat meningkatkan komponen utama pada minyak melati.





V. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini merupakan penelitian eksploratif untuk mengetahui pengaruh perlakuan pendahuluan *Pulsed Electric Field* terhadap hasil ekstraksi minyak biji pala. Penelitian menggunakan metode RSM dengan tiga faktor yaitu tegangan (4000-6000) volt, frekuensi (4000-6000) Hz, lama destilasi dengan (8-12) jam. Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa lama destilasi, frekuensi dan disusul tegangan sangat mempengaruhi rendemen minyak biji pala yang diperoleh dan kondisi optimum PEF yang diperoleh yakni pada frekuensi 6000 Hz, tegangan 4000 volt dan lama destilasi 12 jam. Kondisi optimum tersebut kemudian dilakukan verifikasi dan didapatkan hasil respon rendemen menunjukkan tingkat akurasi sebesar 98,59% (4.6685%) minyak biji pala mendekati nilai prediksi (4.73524 %) sedangkan hasil verifikasi respon indeks bias dan berat jenis menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100,08% dan 100,04%. Perlakuan *pretreatment* PEF mampu meningkatkan kualitas berat jenis minyak biji pala sebesar 4,65% (0,8895 gr/ml) dibandingkan nilai SNI (0,885-0,907), indeks bias 0,122% (1,47785) dibandingkan nilai SNI (1,475-1,485), Limonene 0,22% (8,59%) diatas nilai ISO (2,0-7,0), γ -*Terpinene* 25,6% (21,37%) diatas nilai ISO (2,0-6,0), *Tepineol* 4,85% (35,12%) diatas nilai ISO (2,0-6,0), *safrole* 2,228% (8,07%) diatas nilai ISO (1,0-2,5), *Myristisin* 0,15% (13,80%) diatas nilai ISO (5-12).

5.2 Saran

Adapun saran yang penulis berikan pada penelitian ini adalah :

1. Di butuhkan penelitian lebih lanjut secara spesifik mengenai pengaruh faktor PEF yang berbeda selain tegangan dan frekuensi misalnya waktu paparan PEF dan jarak antar anoda dan katoda terhadap respon rendemen, indeks bias dan berat jenis minyak atsiri biji pala.
2. Selain itu perlu penelitian lanjutan untuk mengukur ketebalan cangkang pada biji pala sebelum proses perlakuan pendahuluan PEF.

3. Pada penelitian diketahui nilai berat jenis masih rendah dan dibawah standar SNI 2388-2006, oleh karena itu perlu dilakukan penelitian lebih lanjut untuk meningkatkan nilai berat jenis minyak atsiri biji pala dengan meningkatkan frekuensi PEF dan lama destilasi.



DAFTAR PUSTAKA

- Association of Official Analytical Chemist. 1980. ***Official Method of Analysis of the Association of Official Analytical of Chemist***. Arlington. Virginia. USA: Published by the Association of Analytical Chemist, Inc.
- Armando, R. 2009. **Memproduksi 15 Minyak Atsiri Berkualitas**. Penebar Swadaya. Jakarta.
- BSN (Badan Standarsasi Nasional). 2006. **SNI Minyak Pala**. BSN Jakarta.
- Bouchonnet, S. 2013. ***Introduction to GC-MS Coupling***. CRC Press, New York. Page. 20
- Box, G, E, P., dan Norman, R, D. 2007. ***Respon Surface, Mixture and Ridge Analyses***. John Wiley & Son. New Jersey
- Departemen Pertanian. 1986. **Pala dan Pengolahannya**. Buku. Bagian Proyek Informasi Pertanian. Biak. 25p.
- Dewi, N.S. 2016. **Faktor Meningkatnya Ekspor Buah Pala Indonesia-Uni Eropa**. Jurnal JOM FISIP 3 (2): 1-13
- Donsi, F., G. Ferrari, G. Pataro. 2010. ***Aplication Of Pulse Elerctric Field Treatments For The Enhancement Of Mass Transfer From Vegetable Tissue***. Journal of Food Engineering Review. No. 2 : 109-130
- Drapper, N. R dan H. Smith. 1998. ***Applied Regresion Analysis Third Edition***. John Wiley&Sons Inc. New York.
- Esthiagi, M. N. and Knorr, D.2005. ***High Electric Field Pulse Pre-Treatment: Potential For Sugar Beet Processing***. Journal Of Food Engineering. Vol 52(3) : 265 – 272.

- Fu'aida, N., Arie, F. M., dan Susinggih, W. 2016. **Aplikasi *Pulsed Electric Field (PEF)* sebagai *Pretreatment* pada Ekstraksi Biji Pinang (*Areca catechu L*) sebagai sumber Antioksidan Alami (Kajian Besar Tegangan dan Lama Waktu PEF)**. Skripsi. Jurusan Teknologi Industri Pertanian. Fakultas Teknologi Pertanian. Universitas Brawijaya Malang.
- Gaschovska, T., D. Cassada, J. Subbiah, M, Hanna, H. Thippareddi, and D. Snow. 2010. ***Enhanced anthocyanin extraction from red cabbage using pulsed electric field processing***. Journal of Food Science. 75:6 p 323-329
- Gaspersz, V. 1995. **Teknik Analisis dalam Penelitian Percobaan 2**. Tarsito. Bandung
- Guenther, E. 1990. **Minyak Atsiri Jilid IV B**. Penerjemah Ketaren S. Universitas Indonesia Press: Jakarta.
- Guenther, E. 1987. **Minyak Atsiri Jilid 1**. Penerjemah Ketaren S. Universitas Indonesia Press: Jakarta.
- Gunning, B.E.S. and M.W. Steer. 1997. ***Plant Cell Biology Structure and Function***. Jones and Bartlett Publishers Internatonal, Barb House, Barb Mews, London W67PA, England.
- Hawa, L. C., dan Putri, R. I. 2011. **Penerapan *Pulsed Electric Field* pada Pasteurisasi Sari Buah Apel Varietas Ana : Kajian Karakteristik Nilai Gizi, Sifat Fisik, Sifat Kimiawi dan Mikroba Total**. Jurnal Agritech (31) 4.
- Hidayati, N., Hanifia I., Efani S. 2015. **Penyulingan Minyak Biji Pala: Pengaruh Ukuran Bahan, Waktu Dan Tekanan Penyulingan Terhadap Kualit**

Hinkelman, K. and O. Kempthorne. 2008. ***Design and Analysis of Experiments. Volume-1***. Second Edition. John Wiley & Sons Inc, Publications. USA

Hidayati, N., Hanifia I., Efani S. 2015. **Penyulingan Minyak Biji Pala: Pengaruh Ukuran Bahan, Waktu Dan Tekanan Penyulingan Terhadap Kualitas Dan Rendemen Minyak**. Jurnal Simposium Nasional RAPI XIV: 1-7.

Hwang, H. D., H. J. Ju., C.W. Gu and K.CK.ko. 2011. ***Application Of The Response Surface Methodology For Optimal Shape Design Of An Arc Shield In A Vacuum Interrupter As A Compact Circuit-Breaker Pulse Generation Device***. Journal of the Korean Physical Society 59 (6):3664-3647.

ISO 3215. 2002. ***Oil of Nutmeg***. International Standar Organization. 8p.

Janositz, A. A.K. Noack, D. Knorr. 2010. ***Pulsed Electric Field And Their Impact On The Diffusion Characteristics Of Potato Slices***. LWT-Food Science And Technology 44. (2011) : 1939-1945.

Jiahui, L., W, Xinlao, W. Yonghoun and L. Gongqiang. 2009. ***Analysis For relationship of transmembrane potential-pulse electric field frequency***. Journal of Food and Bioproducts Processing 87: 261-265.

Koensoemardiyah. 2012. **A to Z Minyak Atsiri untuk Industri Makanan, Kosmetik dan Aromaterapi**. Andi Publisher. Jakarta.

Kulshrestha, S.A. and S.Sastry, 2003. ***Frequency and Voltage Effect o Enhanced Diffusior during Moderate Electric Field (mef) Treatment***. Journal of Innovative Food Science and Emerging Technology. Vol 4 p:189-194.

- Lin, S. Y., Y. Guo., J.B. Liu., Q. You., Y.G. Yin and S. Cheng. 2011. ***Optimized Enzymatic Hydrolysis And Pulsed Electric Field Treatment For Production Of Antioxidant Peptides From Egg White Protein***. African Journal of Biotechnology 10 (55) : 11648-11657.
- M a'mun. 2013. **Karakteristik Minyak Dan Isolasi Trimiristin Biji Pala Papua (*Myristica Argentea*)**. Jurnal Littri 19(2): 72 - 77
- Montgimery, D.C. 2001. ***Design Analysis of Experiment 5th Edition***. John Willey and Sons, inc. New York.
- Montgomery, D. 2009. ***Design Analysis of Experiment 5th Edition***. John Willey and Sons, inc. New York.
- Nawari. 2010. **Analisis Regresi dengan MS Excel 2007 dan SPSS 17**. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta.
- Nisak, H., Wignyanto, Nur, L. R. 2014. **Ekstraksi Melati Putih Menggunakan Teknologi Kejut Listrik Terhadap Mutu Minyak Atsiri Concrete (Kajian Rasio Bahan Baku, Pelarut Heksana, Dan Lama Kejut Listrik)**. Jurnal industria. 3 (1): 43 – 52.
- Nisa, H. 2013. **Ekstraksi Melati Putih Menggunakan Teknologi Kejut Listrik (PEF) Terhadap Mutu Minyak Atsiri Concrete**. Skripsi. Universitas Brawijaya. Malang.
- Nisfianoor, M. 2009. **Pendekatan Statistika Modern untuk Ilmu Sosial**. Salemba Humanika. Jakarta
- Nugraheni, K.S., Lia, K.S., Rohula, U., Baskara, K.A. 2016. **Pengaruh Perlakuan Pendahuluan dan Variasi Metode Destilasi terhadap Karakteristik Mutu Minyak Atsiri Daun Kayu Manis (*C. Burmanii*)**. Jurnal Teknologi Hasil Pertanian. IX(2) : 51-64.

- Nurbahar, I.R. 2017. **Statistik Perkebunan Indonesia 2015-2017**. Sekretariat Direktorat Jenderal Perkebunan. Jakarta.
- Nurdjannah S. 2007. **Teknologi pengolahan pala**. Balai Penelitian dan Pengembangan Pertanian. Jakarta.
- Nurmiah, S., Syarief, R., Sukarno, Peranginangin, R., dan Nurtama, B. 2013. **Aplikasi *Response Surface Methodology* pada Optimasi Kondisi Proses Pengolahan *Alkali Treated Cottoni* (ATC)**. JPB Kelautan dan Perikanan 8(1): 9-22.
- Pataro, G., Ferrari, G. dan Donsi F. 2011. ***Mass Transfer Enhancement by Means of Electroporation, Mass Transfer in Chemical Engineering Processes***, Dr. Jozef MarkoÅj (Ed.). Intechopen Europe. Kroasia.
- Pratama, D.G.A.Y., I Gusti A. G. B., I Wayan G. G. 2016. **Isolasi Dan Identifikasi Senyawa Minyak Atsiri Dari Tumbuhan Sembukan (*Paederia Foetida* L.) Dengan Metode Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (Gc-Ms)**. Jurnal Kimia 10 (1): 149-154
- Said, K, A, M., Mohamed, A, M, A. 2015. ***Overview on the Response Surface Methodology (RSM) in Extraction Processes***. Journal of Applied Science & Process Engineering 2 (1): 8-17.
- Santoso, S. 2009. **Panduan Lengkap Menguasai Statistik dengan SPSS 17**. PT. Elex Media Komputindo. Jakarta..
- Saputro, M.A., Nuri, A., dan Didah, N.F. 2016. ***Physical Characterization and Essential Oil Properties of west Sumatra Mace and Nutmeg Seed (Myristica Fragrants Hoult) at Different Ages at Harvest***. Journal of Pharmacognosy and Phytochemistry 5 (6): 371-376

Sasongko, H. 2012. **Destilasi**. Dilihat pada tanggal 22 oktober 2017. <http://herusasongko.staff.mipa.uns.ac.id/2012/05/02/destilasi>.

Schow, E.V., J.A. Freitas, A. Nizkorodov, S.H. White dan D.J. Tobias. 2012. ***Coupling between the voltage-sensing and pore domains in a voltage-gate potassium channel***. Biochimica et Biophysica Acta (1818) : 1726-1736.

Siemar, C., Toepfl, S. and Heinz, V. 2012. ***Mass Transport Improvment by PEF Application in the Area of Extraction and Destilation Advances from Modeling to Application, Dr. Sina Zareshki***. 213-232. Intech Europe. Kurosia.

Sudarmadji, S., B. Haryono, dan Suhardi. 2003. **Prosedur Analisa Bahan Makanan dan Pertanian**. Liberty. Jakara.

Sukardi, Fakta, M.P., Maimunah, H.P., Arie, F.M. 2014. **Proses Ekstraksi Minyak Atsiri Bunga Mawar dengan Perlakuan Pendahuluan Pef (*Pulsed Electric Field*) Menggunakan Metode Pelarut Menguap (Kajian Frekuensi PEF dan Waktu Ekstraksi)**. Skripsi. Jurusan Teknologi Industri Pertanian Fakultas Teknologi Pertanian Universitas Brawijaya, Malang.

Sukardi, Adhi Pradana Pinasthika, Maimunah Hindun Pulungan, and Arie Febrianto Mulyadi. 2013. **Ekstraksi Minyak Atsiri Bunga Melati (*Jasminum Sambac*) Dengan Metode Maserasi dan Perlakuan Pendahuluan Pef (*Pulsed Electric Field*) (Kajian Besar Tegangan dan Jarak Katoda Anoda)**. Jurusan Teknologi Industri Pertanian. FTP. Universitas Brawijaya.

Sukardi, Sudjito, S., Bambang, D.A., Yudy, S.I. 2015. ***The effect of Moderate Pulsed Electric (Field) on Microscopic Visualitazation of Granular Trichoms of***

Patchouli Leaves. Journal of Engineering and Applied Science. 10 (3): 56-65

Sukardi, Mahendra, N.N., Arie, F.M., Sucipto. 2016. **Efek Pulsed Electric Field (PEF) pada rendemen dan kualitas Minyak Bunga Melati (Jasminum Sambac) (Kajian Rasio Bahan dan Pelarut).** Indonesian Journal Of Essential Oil. 1(1): 30-44.

Sukardi, S. SOEPARMAN. , BAMBANG D. A., YUDY S. I. 2017. **Optimization Of Patchouli Oil (Pogostemon Cablin, Benth) With Steam Distillation Assisted By Pulsed Electric Field Via Response Surface Methodology.** Journal of Engineering Science and Technology Vol. 12 (8): 2106 – 2119.

SNI. 1998. **Standar Nasional Indonesia 06-3735-1998 Standar Mutu Minyak Atsiri.** Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.

SNI. 2006. **Standar Nasional Indonesia Tentang Minyak Pala 06-2388.** Badan Standar Nasional. 6 hlm

Suryatmi R.D., Wahyu P., Bambang H., Amos L. 2008. **Pemanfaatan Limbah Cakang dan Biji Muda Pala di Bandanaira.** Agroforensi Journal. 7 (1) : 59-64.

Suyanti, S., Prabawati, Yulianingsih; Setyadjit; dan Unadi A. 2005. **Pengaruh Cara Ekstraksi dan Musim terhadap Rendemen dan Mutu Minyak Bunga Melati.** Jurnal Pascapanen 2(1):18-23.

Syauqiyah, I., Mirwan, A., Sulaiman, A., dan Nurandi, D. 2008. **Analisis Pengaruh Lama Penyulingan dan Komposisi Bahan Baku Terhadap Rendemen dan Mutu Minyak Atsiri dari Daun dan Batang Nilam.** Jurnal Info-Teknik 9(1):21-30.

- Widiarso, W. 2011. **Arti Interaksi pada Analisis Varians.** Jurnal Psikologi. UGM Vol 1(1).
- Wibowo A, dan Sudi Y. 2004. **Ekstraksi Minyak Nilam Dengan Pelarut Normal Heksana.** Universitas Diponegoro. Semarang.
- Wu, Shaowen, C. Ford dan G. Horn. 2009. **Patent application number: 20090246343: Stable Natural Color Process, Products and Use Thereof.**
- Yajun, Z. Xue C., Zhang S., Yao G., Zhang L., Wang S. 2017. ***Effects Of High Intensity Pulsed Electric Fields On Yield And Chemical Composition Of Rose Essential Oil.*** Internasional Journal Agriculture & Bio Engineer 10 (3): 295-301.
- Zderic, A.E., E. Zondervan., J. Meuldijk. 2013. ***Breakage of Cellular Tissue by Pulsed Electric Filed : Extraction of Polyphenols from Fresh Tea Leaves.*** Chemical engineering transaction 32 p: 1795-1800.